

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

LETÍCIA DE MIRANDA

**Gestão em postos de combustíveis para prevenir passivos ambientais: Estudo de caso  
sobre causas de contaminação e suas consequências no estado do Paraná**

São Paulo

2024

**Gestão em postos de combustíveis para prevenir passivos ambientais: Estudo de caso  
sobre causas de contaminação e suas consequências no estado do Paraná**

**Versão Corrigida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientador: Allan Pretti Ogura

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

#### Catalogação-na-publicação

Miranda, Letícia

Gestão em postos de combustíveis para prevenir passivos ambientais:  
Estudo de caso sobre causas de contaminação e suas consequências no  
estado do Paraná / L. Miranda -- São Paulo, 2024.

53 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento  
Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Áreas contaminadas [gerenciamento] 2.Gestão ambiental  
3.Hidrocarbonetos derivados de petróleo I.Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

## RESUMO

**MIRANDA, Letícia. Gestão em postos de combustíveis para prevenir passivos ambientais: Estudo de caso sobre causas de contaminação e suas consequências no estado do Paraná.** 2024. 53 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O posto revendedor executa atividade de comércio varejista de combustíveis, reconhecida como de utilidade pública. Entretanto, o armazenamento e manuseio dos produtos derivados de petróleo no local, se inadequados, podem acarretar a contaminação dos compartimentos ambientais. Na presente pesquisa, buscou-se identificar as principais fontes primárias de contaminação em postos revendedores do estado do Paraná, relacionando com a gestão inadequada nos empreendimentos. Inicialmente, foram analisadas 66 avaliações de passivo ambiental realizadas em postos revendedores de combustível no estado do Paraná, elaboradas por uma consultoria ambiental. Foi possível observar que as décadas nas quais os postos revendedores funcionaram sem licenciamento ambiental, e consequente fiscalização, resultaram em danos ao ambiente, visto que a grande parte dos casos de passivos ambientais possuem fonte primária de contaminação atrelada às antigas instalações, diante da negligência do gerenciamento, assim como utilização de equipamentos inadequados. As instalações atuais se enquadram como fontes primárias de contaminação, principalmente diante da gestão inadequada e da falta de treinamento dos funcionários. Assim, observou-se que, independente do porte do empreendimento, do volume de armazenamento e da movimentação média de combustível, os postos revendedores urbanos e os de estrada/rodovia apresentaram características similares quanto às fontes primárias de contaminação, substâncias químicas de interesse e existência ou não de risco à saúde humana. Na etapa seguinte, dois estudos de caso foram selecionados para melhor detalhamento e análise crítica, englobando o modelo conceitual e destacando a presença/ausência de risco à saúde humana a partir das concentrações das substâncias químicas de interesse. O modelo conceitual detalhado envolveu fontes primárias de contaminação atreladas às antigas e atuais instalações, com mecanismos primários de liberação a infiltração no solo diante da execução da atividade, infiltração no solo por possível trinca ou transbordamento, com fonte secundária de contaminação o solo, mecanismo secundário de liberação a advecção, difusão e dispersão, com os caminhos de transporte dos contaminantes o solo e a água subterrânea, alcançando receptores comerciais e residenciais. O Estudo de Caso 1 apresentou concentração 1,08 vezes acima do valor máximo aceitável, sugerindo o monitoramento e acompanhamento da evolução ou regressão das concentrações, enquanto o Estudo de Caso 2 apresentou concentrações acima dos valores máximos aceitáveis indicando a necessidade de um plano de intervenção com implantação de sistema de remediação. Assim, evidencia-se que investir na prevenção é mais vantajoso, ambientalmente e economicamente, que em remediação, visto que grande parte das contaminações provenientes da atividade são evitáveis com um gerenciamento adequado das situações, instalações e equipamentos.

**Palavras-chave:** Hidrocarbonetos derivados de petróleo. Gestão ambiental. Áreas contaminadas (gerenciamento).

## ABSTRACT

MIRANDA, Letícia. **Fuel stations management to prevent environmental liabilities: A case study on causes of contamination and their consequences in the state of Paraná.** 2024. 53 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

Gas station carries out the retail trade of fuels, recognized as a public utility. However, inadequate storage and handling of petroleum-derived products on-site can lead to contamination of environmental compartments. In this research, we aimed to identify the main primary sources of contamination in gas stations in the state of Paraná, relating them to inadequate management practices. Initially, 66 environmental liability assessments conducted in fuel stations in the state of Paraná were analyzed, prepared by an environmental consulting firm. It was observed that decades in which gas stations operated without environmental licensing and subsequent inspection resulted in environmental damages. This was mainly due to the fact that the majority of environmental liability cases had a primary contamination source linked to old facilities, reflecting negligence in management and the use of inappropriate equipment. Current facilities also qualify as primary sources of contamination, particularly due to inadequate management and lack of employee training. Thus, it was observed that, regardless of the size of the enterprise and the volume of fuel storage and average movement, urban and highway gas stations presented similar characteristics regarding primary sources of contamination, chemicals of interest, and the presence or absence of risks to human health. In the next stage, two case studies were selected for further detail and critical analysis, including their conceptual model and highlighting the presence/absence of risks to human health based on concentrations of chemicals of interest. The detailed conceptual model involve primary contamination sources related to both old and current facilities, with primary release mechanisms being soil infiltration due to activity execution, soil infiltration through possible cracks or overflow, with soil contamination as a secondary source, and secondary release mechanisms being advection, diffusion, and dispersion, with contaminated pathways including soil and groundwater, reaching commercial and residential receptors. Case Study 1 showed a concentration 1.08 times above the maximum allowed values, suggesting the need for monitoring and tracking the evolution or regression of concentrations. Case Study 2 presented concentrations above the maximum allowed values, indicating the need for an intervention plan with the implementation of a remediation system. Thus, it highlights that investing in prevention is more environmentally and economically advantageous than remediation, as a significant portion of activity-related contaminations are avoidable with proper management of situations, facilities, and equipment.

Keywords: Petroleum-derived hydrocarbons. Environmental management. Contaminated areas (management).

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Instalações básicas de posto revendedor.....	14
Figura 2 - Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas .....	15
Figura 3 - Evolução do contaminante por hidrocarbonetos de petróleo em subsuperfície.....	24
Figura 4 –Localização dos empreendimentos analisados quanto à presença/ausência de contaminação .....	29
Figura 5 - Resumo dos resultados obtidos a partir dos parâmetros analisados em postos em área urbana e de estrada.....	31
Figura 6 - Planta do empreendimento com pluma dissolvida em água subterrânea – Estudo de Caso 1 .....	41
Figura 7 - Planta do empreendimento com pluma retida em solo - Estudo de Caso 2.....	43
Figura 8 - Planta do empreendimento com pluma dissolvida em água subterrânea - Estudo de Caso 2 .....	43

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Composição média de combustível derivado de petróleo .....	21
Tabela 2 - Substâncias Químicas de Interesse Água Subterrânea e Solo (continua) .....	40
Tabela 2 - Substâncias Químicas de Interesse Água Subterrânea e Solo (continuação) .....	41
Tabela 3 - Modelo Conceitual Detalhado - Estudo de Caso 1.....	42
Tabela 4 - Modelo Conceitual Detalhado - Estudo de Caso 2.....	44

## LISTA DE SIGLAS

**AP** – Áreas potenciais

**API** – *American Petroleum Institute*

**AS** – Áreas suspeitas

**ASTM** – *American Society Testing and Materiais*

**BTEX** – Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos

**CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

**CMA** – Concentração máxima aceitável

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**COT** – Carbono Orgânico Total

**DNAPL** – *Dense nonaqueous phase liquids* – líquido denso de fase não aquosa

**EPA** – *Environmental Protection Agency*

**FECOMBUSTÍVEIS** – Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes

**GLP** – Gás Liquefeito de Petróleo

**HRP** – Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo

**LNAPL** – *Light nonaqueous phase liquids* – líquido leve de fase não aquosa

**MCNR** – Mistura Complexa Não Resolvida

**MGAC** – Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

**NAPL** – *Nonaqueous phase liquids* – líquido de fase não aquosa

**PAH** – *Polycyclic aromatic hydrocarbon* – hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

**PPRTV** – *Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value*

**RBCA** – *Risk based corrective action* – ação corretiva baseada no risco

**SEDEST** – Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável

**SQI** – Substância química de interesse

**TPH** – *Total petroleum hydrocarbon* – hidrocarbonetos totais de petróleo

**USEPA** – *United States Environmental Protection Agency*

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
2.	OBJETIVOS.....	12
3.	JUSTIFICATIVA.....	13
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
4.1	Postos revendedores de combustível .....	14
4.2	Áreas contaminadas .....	14
4.3	Legislação diretamente aplicada .....	17
4.4	Fontes de contaminação em postos revendedores .....	19
4.5	Contaminação e substância química de interesse – hidrocarbonetos derivados do petróleo .....	20
4.6	Distribuição da substância química de interesse nos compartimentos ambientais ....	22
4.7	Meio de transporte da substância química de interesse .....	25
5.	MATERIAL E MÉTODO.....	27
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
6.1	Avaliação Preliminar e Confirmatória de Passivo Ambiental .....	30
6.2	Investigação Detalhada de Passivo Ambiental .....	30
6.3	Seleção de estudo de caso .....	36
6.3.1	Contextualização Estudo de Caso 1 .....	36
6.3.2	Contextualização Estudo de Caso 2 .....	38
6.3.3	Resultados dos Estudos de Caso 1 e 2.....	40
6.3.4	Análise de Risco dos Estudos de Caso 1 e 2 .....	47
7.	CONCLUSÃO .....	49
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Os produtos derivados do petróleo são muito utilizados como fontes de energia para indústrias e para vida cotidiana, incluindo para a composição do combustível de veículos automotivos. Esse cenário gera preocupação ambiental diante da possibilidade de acidentes, derramamentos ou vazamentos durante fases como exploração, produção, transporte e armazenamento (Das e Chandran, 2010). Por exemplo, a liberação desses produtos pode levar à contaminação de diferentes compartimentos ambientais a partir dos hidrocarbonetos e ocasionar riscos ambientais e de saúde humana (Sajna et. al, 2015).

O petróleo é uma mistura complexa de diferentes compostos orgânicos, na forma líquida com aspecto oleoso, com uma densidade menor que a da água, inflamável, podendo ser encontrado em diversas profundidades, tanto no subsolo terrestre quanto abaixo do leito marinho, e possui uma coloração que varia a partir de sua origem, podendo ser encontrado em cores como preto, verde, marrom e até mesmo incolor (Lopes, 2011). Em geral, o petróleo possui em sua composição cerca de 84,5% de carbono e 13% de hidrogênio (Maximiano, 2001), além de baixa quantidade de nitrogênio, oxigênio, enxofre, e outros elementos (Ancheyta e Speight 2007). Os derivados de petróleo estão relacionados aos combustíveis (óleo diesel, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP) e querosene), insumos petroquímicos (parafina, nafta e propeno), óleo lubrificante e asfalto (Martinez, 1999 *apud* Sança, 2006).

O Brasil é um grande consumidor de petróleo, a produção nacional de seus derivados cresceu 6,7% em 2022, atingindo 2,1 milhões de barris/dia (ANP, 2023). O Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível, disponibilizado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), apresenta a evolução do setor nos estados brasileiros e no país. A quantidade de postos revendedores de combustíveis automotores aumentou no período de 2002 a 2022, de 29.804 para 43.266 no Brasil e, de 2.459 para 2.847 no estado do Paraná (ANP, 2003, 2023). Dessa forma, houve um aumento significativo de unidades no país no decorrer dos últimos 20 anos (13.462), tendo em vista que o estado do Paraná obteve um acréscimo de 388, cerca de 2,9% do total.

Por décadas, os postos revendedores funcionaram sem obrigação quanto ao licenciamento ambiental e, consequentemente, sua instalação e operação não envolvia uma preocupação com questões ligadas ao meio ambiente, como equipamentos de controle ambiental e gestão adequada. Na década de 80, o Brasil já possuía leis estaduais e federais visando ao gerenciamento ambiental das atividades industriais, mas com poucas ações de controle dos riscos. Apenas no ano 2000, a Agência Nacional de Petróleo (ANP), por meio da

Portaria nº 116/2000, classificou a atividade de comércio varejista de combustíveis como Posto Revendedor, sendo considerada como potencialmente poluidora pela Resolução nº 273/2000 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Anteriormente, os representantes dos postos, por meio da Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes (FECOMBUSTÍVEIS), justificavam a ausência de licenciamento ambiental, pois não havia evidências da atividade causar danos ao ambiente, independente dos fatores de risco e possível impacto ambiental (Santos, 2005).

As áreas contaminadas estão relacionadas aos locais nos quais ocorre poluição ou contaminação diante da presença de substâncias ou resíduos que venham a causar impactos negativos e riscos aos bens a proteger, podendo estar localizadas em superfície e/ou em subsuperfície nos diferentes compartimentos (zonas não saturada e saturada) (CETESB, 2001). Diante do alto potencial de contaminação a partir das atividades exercidas pelos postos revendedores de combustível, além de um gerenciamento quanto às áreas já contaminadas, é crucial que se impeça o surgimento de novos passivos ambientais. Para isso, é importante um olhar amplo abrangendo a causa e a consequência, desde as possíveis fontes primárias de contaminação, substâncias químicas e seu comportamento ambiental, até as potenciais consequências à saúde humana, as quais podem acarretar um processo de remediação custoso ao empreendimento. Dessa forma, vê-se necessária a importância do conhecimento quanto às fontes primárias e secundárias de contaminação, para que se possa evitar passivos ambientais, focando na gestão preventiva e equipamentos de controle ambiental. Vale ressaltar que o licenciamento ambiental se refere a um instrumento de comando e controle das atividades, mas também está atrelado a um instrumento preventivo de gestão, desde que aplicado com êxito (Santos, 2005).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral da presente pesquisa foi mostrar como o processo de gestão ambiental adequada pode ser um instrumento de prevenção de contaminação nos compartimentos ambientais em áreas com instalação de postos revendedores de combustível, evitando consequente risco à saúde humana. Diante disso, três objetivos específicos foram desenvolvidos, incluindo:

- a) Identificar as principais fontes primárias de contaminação em postos revendedores de combustível, a partir de uma base de dados de uma empresa de consultoria ambiental do estado do Paraná;
- b) Relacionar as fontes primárias de contaminação com a gestão inadequada nos empreendimentos avaliados, destacando pontos de melhoria;
- c) Analisar criticamente dois estudos de caso de áreas contaminadas, englobando o modelo conceitual detalhado e destacando a presença/ausência de risco à saúde humana a partir das concentrações das substâncias químicas de interesse.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A relevância da presente pesquisa está atrelada aos seguintes fatores:

- a) A gestão adequada nos postos revendedores de combustíveis, assim como da estrutura e instalação correta dos equipamentos, pode contribuir para a minimização de problemas posteriores e facilitar a contenção de danos, principalmente quanto ao risco à saúde humana;
- b) As fontes primárias de contaminação geralmente são evitáveis, sendo mais vantajosa a prevenção do que a remediação, tanto ambientalmente quanto economicamente;
- c) O comportamento das fontes secundárias no solo pode impactar a contaminação local e dificultar a posterior remediação.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Postos revendedores de combustível

A Resolução CONAMA nº273/2000 foi o primeiro instrumento brasileiro que dispôs sobre a instalação de sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, uma vez que relaciona posto revendedor com “Instalação onde se exerce a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados do petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores” (CONAMA, 2000). Para desenvolver a atividade de posto revendedor, instalações típicas incluem as bombas de abastecimento, tanques de combustível (geralmente subterrâneos), pontos de descarga de combustível, onde ocorre o descarregamento de combustível do caminhão para o tanque, tanque de óleo lubrificante usado (subterrâneo ou aéreo), tubulações subterrâneas, filtro de óleo diesel, sistema de drenagem oleosa, equipamentos de proteção e controle de derrames, transbordamento e vazamento de produto, caixa separadora de água e óleo, entre outros (Santos, 2005).

Figura 1 - Instalações básicas de posto revendedor



Fonte: Thome Petróleo, 2013.

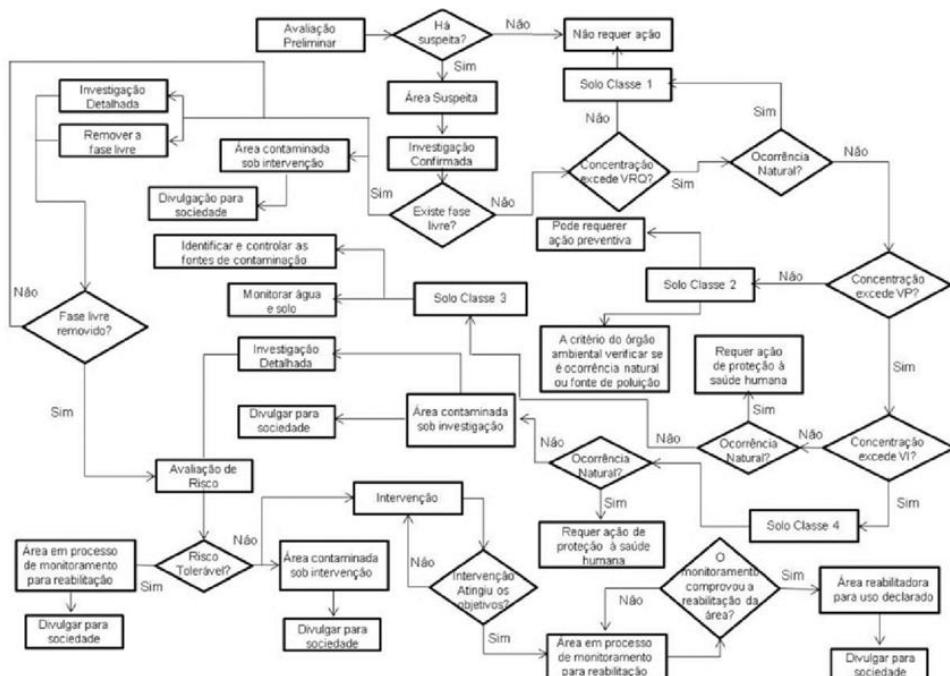
### 4.2 Áreas contaminadas

Uma área pode ser considerada contaminada quando ocorre comprovadamente poluição causada por qualquer substância ou resíduos nela depositados, e que gere impactos negativos sobre os bens a proteger, entre eles a qualidade da água, do solo e do ar, além da saúde da população, fauna e flora (CETESB, 2001). A contaminação ambiental é considerada poluição quando atinge níveis com efeitos deletérios na saúde humana ou efeitos adversos nos organismos vivos (GESAMP, 1969). Uma contaminação está relacionada com área degradada diante da ocorrência de processos de alteração das propriedades físicas ou químicas dos

compartimentos ambientais (CETESB, 2001). As áreas contaminadas abrangem as instalações e equipamentos *in loco*, as atividades executadas e os receptores populacionais (humanos ou animais), os quais podem estar expostos aos contaminantes. Os contaminantes podem estar concentrados tanto na superfície como em subsuperfície, em solo, água, ar, biota, além dos ambientes construídos como edificações e material utilizado para aterro (Gunther, 2006), podendo, até mesmo, transportar o meio contaminado e consequentemente contaminar outro local.

O processo de recuperação de áreas contaminadas se iniciou nas últimas décadas do século XX, com o objetivo de viabilizar a reabilitação da área e a restauração do solo. Entretanto, diante do custo elevado para chegar às condições necessárias, e muitas vezes da improbabilidade de alcançar a condição ideal, busca-se recuperar a área para um uso determinado, com medidas menos restritivas e técnicas mais viáveis economicamente (Gunther, 2006). Dessa forma, o gerenciamento das áreas contaminadas busca minimizar os riscos para o ambiente e para a população, por meio de medidas que assegurem o entendimento das características da área e impactos gerados pelos contaminantes, possibilitando uma melhor tomada de decisão quanto à forma de agir e intervir (CETESB, 2001). A Resolução CONAMA n°420/2009 classifica as etapas dos procedimentos e ações de investigação (Figura 2), sendo elas: identificação, envolvendo a avaliação preliminar e confirmatória; diagnóstico, atrelado à investigação detalhada e avaliação de risco; e intervenção.

Figura 2 - Fluxograma das etapas de gerenciamento de áreas contaminadas



Fonte: CONAMA, 2009.

Assim, a avaliação preliminar constata evidências, indícios ou fatos que possibilitem suspeitar da existência de contaminação na área sob investigação, levando em consideração as informações históricas disponíveis e vistorias técnicas do local, de modo a subsidiar o desenvolvimento das próximas etapas. Posteriormente, a investigação confirmatória envolve a identificação das possíveis áreas contaminadas, cujo foco é confirmar ou não a existência de contaminantes de origem antrópica em concentrações superiores aos valores estabelecidos pela resolução vigente e aplicável, no solo ou nas águas subterrâneas. Se confirmado, a investigação detalhada analisa a dinâmica da contaminação nos compartimentos ambientais afetados e identifica os cenários de uso e ocupação do solo, assim como dos receptores, caminhos de exposição e vias de ingresso do contaminante. Posteriormente, a avaliação de risco identifica, avalia e quantifica os riscos à saúde humana ou bem de interesse ambiental a ser protegido. A intervenção condiz com a “etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área” (CONAMA, 2009).

Para melhor organizar e compreender informações sobre a possível contaminação dos compartimentos ambientais, ocorre a elaboração do modelo conceitual, o qual é utilizado como base para o planejamento ou atualização de cada fase. Dessa forma, o modelo conceitual na etapa inicial está atrelado à avaliação preliminar, a qual representa a situação da área diante de possíveis contaminações, tendo em vista que o confirmatório é atualizado diante do inicial, e o detalhado condiz com a atualização do confirmatório, visando a possibilitar a elaboração de um plano de intervenção mais assertivo. O modelo conceitual geralmente considera as áreas potenciais e suspeitas de contaminação, englobando as áreas fontes primárias e secundárias, assim como os meios de liberação para o meio, vias de propagação e exposição, devendo compreender os seguintes itens: (SEDEST, 2020)

- Posicionamento das fontes potenciais de contaminação, ou seja, a indicação da localização de todas as instalações, atuais e antigas, como por exemplo, área de abastecimento, área de descarga, área de troca de óleo, filtro de diesel e tubulações.
- O posicionamento das fontes primárias de contaminação identificadas, ou seja, a indicação da localização de todas as instalações, atuais e antigas, onde foram observados vazamentos ou indicações de vazamentos.
- A identificação dos locais onde ocorreram reformas, consertos, trocas de equipamentos ou mudanças das instalações.

- O posicionamento dos pontos de amostragem da Investigação Confirmatória, destacando os locais onde foi constatada presença de contaminação.
- A identificação dos locais onde foi constatada presença de fase livre ou situação de perigo.
- A identificação dos locais onde foram desencadeadas medidas emergenciais.
- A identificação dos locais onde possam existir receptores potenciais ou bens a proteger dentro da área do empreendimento, como por exemplo, escritório e loja de conveniências (SEDEST, 2020).

#### **4.3 Legislação diretamente aplicada**

Em 1997, o CONAMA aprovou a Resolução nº 237/97, a qual regulamentava questões de licenciamento ambiental descritas na Política Nacional do Meio Ambiente, com atividades e empreendimentos considerados potencialmente poluidores. Entretanto, não estava inclusa a atividade exercida por postos revendedores de combustíveis. A partir da Conferência Rio-92, elevaram-se os casos de passivos ambientais divulgados pela mídia e, ainda no início da década de 90, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) deu início aos atendimentos de acidentes com transportes rodoviários de combustível e postos revendedores (Santos, 2005). Em 1998, foi promulgada a Lei Federal nº 9605/98 (Lei de Crimes Ambientais), na qual passaram a incluir aspectos criminais às questões ambientais. Em 2001, o CONAMA publicou a Resolução nº 273/2000, contendo os critérios para licenciamento ambiental, em que considera os postos revendedores de combustíveis como atividades potencialmente poluidoras. Assim, essa normativa aborda sobre os requisitos para o armazenamento seguro de combustíveis, localização, caracterização hidrogeológica, entre outros, a fim de garantir a segurança, proteção ambiental e saúde pública (CONAMA, 2000).

A Resolução CONAMA nº 420/2009 foi um avanço para a legislação ambiental brasileira, pois estabeleceu critérios e diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por substâncias químicas decorrentes de atividade antrópica, além de dispor sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Assim, os objetivos para o gerenciamento dessas áreas envolvem eliminar ou minimizar os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, evitar danos aos demais bens a proteger, evitar danos ao bem-estar público durante as ações para reabilitação, além de possibilitar o uso declarado ou futuro para área (CONAMA, 2009).

No estado do Paraná, a Resolução SEDEST 03/2020 dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelecendo condições e critérios para postos revendedores e outros

empreendimentos ligados a combustíveis, a fim de garantir a segurança ambiental e da população. Assim, cita aspectos locacionais quanto às distâncias dos elementos notáveis como tanques, bombas, filtros, descarga e respiros diante da divisa com outros imóveis, e de edificações de serviço como escolas, creches, hospitais, postos de saúde e asilos. Aspectos técnicos são descritos, estabelecendo a obrigatoriedade da implantação de tanques de paredes duplas para novos empreendimentos ou instalados após vigência da Lei Estadual nº 14.984, de 28 de dezembro de 2005. Além disso, decorre sobre a elaboração do Relatório de Vistoria Técnica com apresentação anual ao órgão ambiental, contendo entre outras coisas, um conjunto de imagens fotográficas das instalações e infraestrutura do empreendimento, cópia dos relatórios de monitoramento da qualidade de água do poço de captação de água, análise dos resultados dos laudos analíticos dos efluentes líquidos tratados provenientes da caixa separadora de água e óleo (CSAO), a serem lançados, teste de estanqueidade e hidrostático (SEDEST, 2000).

A Resolução SEDEST 03/2020 também exige o Relatório Técnico de Implantação das Medidas de Controle Ambiental, em que solicita o certificado expedido pelo Instituto Nacional de Metrologia comprovando a conformidade da fabricação, montagem e comissionamento dos equipamentos, certificado de instalação do equipamento de detecção e monitoramento de vazamento, assim como o relatório de treinamento para operação do sistema (conforme ABNT NBR 13784 e atendendo as determinações na Resolução CONAMA 273/2000 e CONAMA 319/2002), e anuênciaria para ligação do efluente tratado da CSAO. Outro item exigido é o Relatório de Monitoramento e Operação (RMO) para renovação da Licença de Operação, o qual aborda itens como a avaliação do sistema de monitoramento intersticial do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis (SASC), avaliação do sistema de tratamento de efluentes oleosos provenientes da pista de abastecimento, área de tancagem, entre outros, relatório fotográfico com ficha de vistoria do empreendimento, descrição do Plano de manutenção dos equipamentos, sistemas e procedimentos operacionais do SASC e medidas de correção executadas, além da avaliação dos laudos analíticos das amostras de solo e água subterrânea dos poços de monitoramento existentes no empreendimento. Para garantia da representatividade dos resultados apresentados no RMO, o empreendimento deve ter realizado Estudos de Identificação de Passivo Ambiental anteriormente ao RMO, sendo o RMO apresentado ao órgão ambiental com frequência máxima de 3 anos a partir da data de emissão da licença de operação e respectivas renovações (SEDEST, 2000).

No decorrer da Resolução SEDEST 03/2020, menciona-se a necessidade da apresentação de estudo de passivo ambiental em casos como: requerimento de Licença de

Instalação (LI) para empreendimentos em operação (após ano 2000); não apresentação do RMO; regularização do licenciamento ambiental de empreendimentos já instalados os quais não possuem licença de operação; ocorrência de acidentes envolvendo derramamento de produtos líquidos de combustíveis; implantação de novos empreendimentos localizados onde antes havia atividade potencialmente poluidora; situação na qual o monitoramento eletrônico estiver inoperante/desativado durante vistoria técnica realizada por corpo técnico do órgão ambiental; quando o monitoramento eletrônico detectar vazamento durante o respectivo monitoramento; em período não superior a 12 anos contados da data do último estudo apresentado (SEDEST, 2000).

#### **4.4 Fontes de contaminação em postos revendedores**

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (MGAC) divide as fontes de contaminação a partir de três critérios: tipo de fonte, origem e forma de entrada das substâncias no compartimento ambiental. As fontes de contaminação são classificadas em: fonte potencial (pela qual uma quantidade de substâncias pode ser liberada para os compartimentos, tornando-os contaminados, como um equipamento, tanque, tubulação, entre outros); fonte primária (fonte potencial que, durante sua utilização ou operação, libera ou liberou significativa quantidade de substância para os compartimentos ambientais, tornando-os contaminados); e fonte secundária (relacionado ao compartimento ambiental contaminado por fonte primária, tendo em vista que o acúmulo da substância atua como fonte de contaminação para outro compartimento e também o torna contaminado, como a presença de fase retida e fase livre). Quanto à origem, o MGAC classifica como fontes de contaminação naturais ou antrópicas, aquelas decorrentes de atividades humanas ou construídas artificialmente. A forma de entrada das substâncias nos compartimentos ambientais está subdividida quanto à fonte de contaminação pontual (em que a substância é liberada para o compartimento em uma pequena área, como tanques de combustível ou área de disposição de resíduos); e fonte difusa/multipontual (substância é liberada para o compartimento em uma área maior, como rede de esgoto urbano e fossas rudimentares em municípios) (CETESB, 2021).

As principais fontes de contaminação estão vinculadas à disposição inadequada de resíduo, gestão inadequada de substâncias perigosas em processos industriais, perdas no decorrer do processo produtivo, armazenamento inadequado, vazamento nos processos, acidentes, bem como a desativação de atividades potencialmente poluidoras (Gunther, 2006). No Brasil, houve um aumento de instalações de postos revendedores de combustíveis em

meados de 1970, tendo em vista que os tanques de armazenamento de combustíveis eram construídos em chapa de aço simples e possuíam vida útil aproximada entre 20 e 25 anos (Oliveira e Loureiro, 1998). Entretanto, após esse período, muitos tanques não foram substituídos, o que colaborou para a ocorrência de vazamentos e consequente contaminação ambiental (Oliveira e Loureiro, 2002). A visibilidade para áreas contaminadas diante do vazamento de combustíveis e suas consequências vem sendo abordada de forma mais intensa desde o início da década de 1980, principalmente diante do trabalho realizado pela Agência Ambiental Norte Americana USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), que contribuiu com normas e procedimentos editados pela ASTM (*American Society Testing and Materials*) e pela API (*American Petroleum Institute*) (Mindrisz, 2006).

Além da contaminação decorrente de corrosão de tanques e tubulações, possíveis fontes de contaminação citadas pela CETESB (2006) são: afundamentos ou trincas no piso diante do esforço mecânico decorrente da circulação de veículos no local, podendo ocorrer rupturas especialmente em conexões de tanques e tubulações subterrâneos; base permeável na pista de abastecimento, permitindo infiltração no solo a partir de vazamentos no ato de abastecimento ou descarregamento de produto; ausência de canaletas de drenagem ou instaladas de forma inadequada, de forma que o produto extravasado se acumule em calçadas e atinja galeria de águas pluviais, acarretando atmosferas inflamáveis em seu interior; a não estanqueidade de bombas de abastecimento; câmara de calçada da boca de descarga não impermeabilizada e sem área de contenção; manutenção das válvulas extratoras que podem gerar vazamentos diante da reinstalação inadequada; extravasamento nos respiros diante do excessivo enchimento dos tanques durante a operação de descarga; vazamento das conexões e tubulações do filtro de óleo diesel; caixas separadoras de água e óleo diante de trincas ou extravasamento por excesso de resíduos (Maranhão et al., 2007).

#### **4.5 Contaminação e substância química de interesse – hidrocarbonetos derivados do petróleo**

Os hidrocarbonetos de petróleo são subdivididos a partir das faixas específicas de carbono, sendo que as frações contendo número de carbonos de C6 a C10 são consideradas como voláteis, número de carbonos equivalente a C10-C16, semivoláteis, número de carbonos correspondente a >C16 a C34 representam uma fração não volátil, enquanto a fração menos volátil e insolúvel equivale à quantidade de carbono acima de 35 (Logeshwaran et al., 2018). O hidrocarboneto é menos volátil quanto maior o número de carbonos em sua composição, uma vez que o aumento da cadeia de carbonos está atrelado a uma menor mobilidade no

comportamento do solo e uma maior facilidade de ficar adsorvido na matéria orgânica (Finotti et al., 2001). Uma das normas para medição das concentrações de hidrocarbonetos é a Norma ISO 16703, a qual é utilizada para estimativa de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) variando de C10 a C40 (ISO, 2004). A relação entre a faixa de carbono, combustível, ponto de fulgor, compostos presentes e uso estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição média de combustível derivado de petróleo

Faixa de carbono por molécula	Combustível	Ponto de Fulgor	Compostos presentes	Uso
C1 a C4	Gás	20 °C	Metano, Etano, Propano, Butano, Etileno, Propileno, Butileno, Isobutano, Isso-butileno	Cozimento, aquecimento domiciliar, estoque para processos químicos
C5 a C10	Gasolina	20 a 190 °C	Alcanos, Alcenos, monoaromáticos solúveis em água e aditivos	Combustível automotivo
C11 a C13	Querosene	190 a 260 °C	Alcanos, monoaromáticos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) (naftalenos, antracenos) pouco solúveis, alguns metais e aditivos	Combustível, combustível para avião
C14 a C18	Diesel	260 a 360 °C	Alcanos, monoaromáticos, PAH (naftalenos, antracenos) pouco solúveis, alguns metais e aditivos	Combustível automotivo
C19 a C40	Óleo lubrificante	360 a 530 °C	Alcanos, PAHs insolúveis em água e metais como níquel e vanádio	Lubrificante, graxa, ceras

Fonte: Adaptado Fetter, 1994

Além de hidrocarbonetos, a gasolina também possui em sua composição baixas concentrações de compostos de nitrogênio, enxofre e metálicos, sendo acrescentadas misturas de solventes e aditivos com o objetivo de melhorar seu desempenho e sua estabilidade. A gasolina comercializada possui hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, sendo os aromáticos os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e alifáticos o butano (C4), penteno (C5) e octano (C8) (Souza, 2011). Os BTEX costumam ser de maior importância diante de sua maior volatilidade e solubilidade, com consequente aumento no risco de alcançar as águas subterrâneas (Marques, 2007). Além disso, são perigosos visto que o benzeno é um composto carcinogênico, enquanto o tolueno, etilbenzeno e xileno são considerados tóxicos (Finotti et al., 2001). O grupo PAH ocorre em quantidade reduzida ou não detectada, pois suas moléculas possuem alto peso molecular e alto ponto de ebulição, com exceção do analito naftaleno, o qual pode apresentar proporção de 0,5% em massa (Marques, 2007). Uma característica da gasolina brasileira é a porcentagem de cerca de 22% de etanol, podendo manifestar comportamento cossolvente e, assim, acarretar o aumento da solubilidade da gasolina em água e consequente

impacto ambiental. O etanol pode ser biodegradado preferencialmente diante dos compostos de BTEX, o que pode inibir a biodegradação desse grupo (Corseuil e Marins, 1998).

O óleo diesel não possui elementos em suspensão, possui um odor característico e é incolor, composto por uma mistura de TPHs com substâncias mais pesadas que a gasolina. Contém de 6 a 30 átomos de carbono, possuindo 40% de cicloalcanos, 40% de n-alcanos, 20% de hidrocarbonetos aromáticos e uma pequena faixa de isoprenóides, enxofre, nitrogênio e compostos oxigenados (Souza, 2011). Finotti et al. (2001) relacionam o óleo diesel como hidrocarbonetos com 10 a 20 carbonos e que o diesel tende a ser menos volátil, menos solúvel em água e possuir menor mobilidade que os compostos de gasolina. Esses compostos são considerados como perigosos em casos de contaminações e possuem compostos poliaromáticos com três a seis anéis benzênicos com efeito carcinogênico comprovado ou suspeito (Finotti et al, 2001). Um derramamento de óleo diesel, o produto possui uma mobilidade moderada, assim como potencial de adsorção moderado, sendo o tempo para percolação maior que o da gasolina, entretanto, até o contaminante atingir o aquífero, pode deixar um rastro de saturação residual na zona não saturada (Finotti et al., 2001). Os óleos lubrificantes e combustíveis com número de carbonos elevados tendem a ser insolúveis e relativamente imóveis (Marques, 2007).

Por outro lado, o álcool possui em sua composição compostos orgânicos representado pela existência do grupo hidroxila (R-OH), o qual permanece ligado a uma cadeia de átomos de carbono saturados (Souza, 2011). Há diferença entre álcool etílico anidro e hidratado, visto que o primeiro é utilizado na gasolina do tipo A e o segundo é o combustível comercializado nos postos revendedores de combustível (Marcos, 2002 *apud* Souza, 2011). Enquanto o primeiro possui aspecto alaranjado, o segundo é incolor, mas ambos são solúveis na água e em solventes orgânicos (Petrobrás, 2012).

#### **4.6 Distribuição da substância química de interesse nos compartimentos ambientais**

A forma como o contaminante se comporta no meio é controlada por processos físicos, químicos e biológicos, os quais dependem da solubilidade e densidade dos contaminantes, além das características intrínsecas do meio (Chapelle, 1992). Os contaminantes líquidos geralmente são identificados como líquidos de fase não aquosa (NAPL, do inglês *non aqueous phase liquids*) e se dividem em duas categorias: densos e leves. Os DNAPL (*dense non aqueous phase liquids*) se referem aos líquidos mais densos que a água (1mg/cm<sup>3</sup>), enquanto os LNAPL (*light non aqueous phase liquids*) são menos densos que a água. Os combustíveis, quando em contato

com o meio, ocupam posições diferentes para cada NAPL, tendo em vista que o DNAPL afunda para base do aquífero enquanto o LNAPL permanece sobre o nível da água (Pereira, 2000). Segundo *American Petroleum Institute*, os principais tipos de LNAPL são os combustíveis gasolina, destilados médios (querosene e óleo diesel), óleos lubrificantes e combustíveis pesados (API, 2004).

Conforme o MGAC da CETESB, as plumas de contaminação podem estar presentes no meio em diferentes fases, sendo elas: fase livre, caracterizada pela presença do produto puro, o qual preenche os poros ou fraturas das zonas (não saturada ou saturada) e apresenta mobilidade; fase retida, caracterizada pela presença do produto puro, o qual preenche os poros ou fraturas das zonas (não saturada ou saturada) e não apresenta mobilidade; fase dissolvida, caracterizada pela presença do contaminante dissolvido em água subterrânea, existente nos poros ou fraturas das zonas (principalmente da zona saturada); e fase vapor, caracterizada pela ocorrência de vapores da substância química de interesse no ar dos poros da zona não saturada (CETESB, 2021).

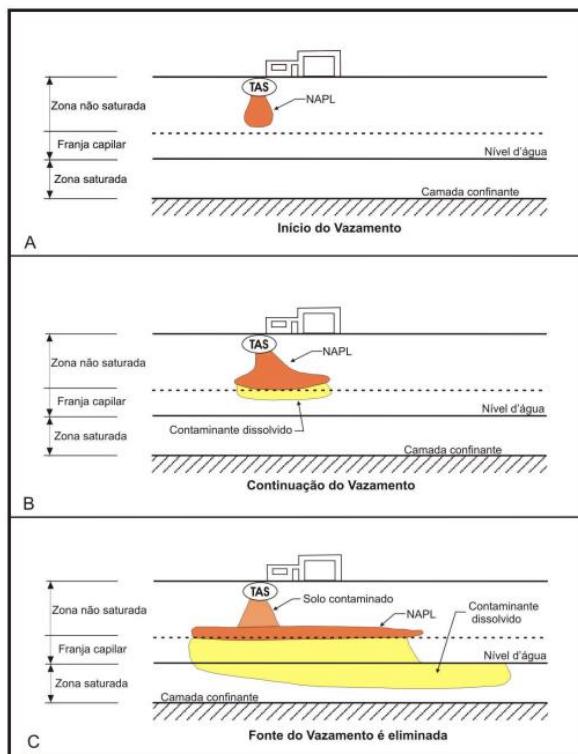
A fase residual (retida) se trata do produto que permanece depois da passagem do contaminante em fase líquida, quando os LNAPL ficam retidos nos poros do solo por forças capilares. O material retido atuará como fonte de contaminação secundária posteriormente, resultando na dissolução em água e volatilização em vapor no solo. Quando a saturação de LNAPL ultrapassa a saturação residual, resulta em uma fase contínua entre os poros do solo, sendo este volume de LNAPL móvel (fase livre) capaz de se deslocar horizontal ou verticalmente, conforme o nível de água (Setti, 2008).

A fase dissolvida está atrelada ao produto dissolvido na água subterrânea, a qual transporta o contaminante (Setti, 2008). As concentrações dissolvidas dependem de fatores como a profundidade do aquífero freático, condutividade hidráulica, valores da recarga pluviométrica, velocidade da água subterrânea, solubilidade do contaminante, temperatura da água, flutuação do nível da água e concentração do contaminante na fase residual (Guiger, 1996). A pluma em fase dissolvida é influenciada diretamente por parâmetros como a velocidade da água, composição do produto, biodegradação, sorção e dispersão, tendo em vista que a solubilidade condiz com a máxima concentração que pode se dissolver em água diante das condições de pressão e temperatura (Oliveira 1992). A fase vapor resulta da volatilização dos produtos da fase livre presentes na zona não saturada, dos compostos em fase residual e em fase dissolvida, sendo a maior contribuição proveniente da fase livre (Fetter, 1998).

Algumas etapas do comportamento dos hidrocarbonetos presentes nos compartimentos ambientais, decorrentes de vazamento de tanque subterrâneo, estão representadas na Figura 3.

A etapa (A) está atrelada à massa de hidrocarboneto no meio não saturado, antes de atingir a franja capilar, enquanto a etapa (B) demonstra o vazamento contínuo e o volume vazado formando a fase livre, sendo o LNAPL deslocado junto a franja capilar e parte dos compostos solúveis começando a se dissolver na água subterrânea. Na etapa (C), a fonte de contaminação foi estanque, mas os contaminantes permaneceram no solo abaixo da fonte primária, a pluma de fase livre foi espalhada lateralmente e a pluma de fase dissolvida migra na direção do fluxo subterrâneo (EPA, 1996). Além disso, a massa de hidrocarbonetos da fase livre e residual tende a se volatilizar e solubilizar parcialmente, se tornando componentes do vapor da água subterrânea e solo, respectivamente, pois a solubilização das frações mais leves (com menor pressão de vapor e menor peso molecular) tendem a tornar a massa remanescente dos compostos menos móvel e mais densa (EPA, 1996). Os hidrocarbonetos na fase vapor são móveis e podem migrar a maiores distâncias na extensão de caminhos de fluxo preferenciais, como juntas, fraturas, camadas de areia e linhas de utilidades subterrâneas (EPA, 1996). A retenção capilar é capaz de manter imóvel uma quantidade significativa de produto, o qual permanece como fonte de contaminação do aquífero e de vapores (Mindrisz, 2006).

Figura 3 - Evolução do contaminante por hidrocarbonetos de petróleo em subsuperfície



Fonte: USEPA, 2003

#### **4.7 Meio de transporte da substância química de interesse**

A contaminação do solo proveniente dos combustíveis está relacionada às formas de transporte no meio, como a contaminação dissolvida na água, adsorção pelo solo, volatilização do solo ou da água subterrânea para o ar, lixiviação do solo para água, além da potencial bioacumulação dos contaminantes (Maranhão et al., 2007). As propriedades físicas e químicas dos compostos colaboram com a forma que interagem no meio, com influência direta na mobilidade, degradação e remoção do meio impactado (ASTM, 1998 *apud* Setti, 2008). Parâmetros como a razão entre o vazamento do produto e a permeabilidade do solo, profundidade e orientação do nível da água, além do tipo de tancagem, possuem importante influência na formação da pluma LNAPL (API, 2004). Além disso, características geológicas e hidrogeológicas do local contribuem para determinar a extensão da área impactada (Lindorff, 1979).

Conforme Guiger (1996), as características dos combustíveis que mais afetam a movimentação e retenção no solo são: densidade, viscosidade, solubilidade e pressão de vapor. Quanto ao solo, a autora considerou a classificação pela textura de argila, silte e areia, levando em consideração que o tamanho e a ligação dos poros determinam o movimento dos fluidos na subsuperfície. Em geral, quanto maior a granulometria do solo, maiores são os espaços vazios entre as partículas e, assim, maior a permeabilidade. Quando o solo possui granulometria grossa, o óleo tem capacidade de expulsar a água e a saturação de LNAPL pode ser elevada, visto que o tamanho dos poros diminui as forças capilares, facilitando a entrada do óleo. Entretanto, diante da presença de solos mais finos, o óleo não consegue deslocar a água com facilidade e, consequentemente, a saturação de óleo é menor e a retenção do óleo é maior.

Os processos físicos responsáveis pelo transporte do contaminante no meio são advecção, difusão molecular e dispersão mecânica (hidrodinâmica) (Fetter, 1999). O processo de advecção condiz com o transporte devido ao processo de fluxo da água no solo, tendo em vista que o soluto presente na água se desloca com velocidade igual à velocidade média da água, sem alterar sua concentração na solução; o transporte por difusão molecular ocorre por gradiente de concentração existente em um fluido, em que o soluto dissolvido em água é deslocado de uma área onde a concentração é maior, para uma área com menor concentração (Thomé e Knop, 2008). Conforme Fetter (1999) e Lagrega et al. (1994), a dispersão está relacionada com o espalhamento da fase dissolvida promovida pelo fluxo da água subterrânea diante do meio poroso.

Os processos bio-físico-químicos podem propiciar tanto a aceleração quanto o retardamento do movimento da substância química de interesse na água subterrânea e a degradação ou decaimento de efeitos deletérios ao longo do tempo (Thomé e Knop, 2008). Maximiano (2001) relaciona a retardação como o processo de transporte diante da imobilização ou atraso da fase dissolvida ou vapor, do contaminante, e são processos reversíveis os quais não transformam o contaminante. A adsorção é o principal processo de retardação, a qual consiste no processo que o produto adere às superfícies dos sólidos diante das forças de atração existentes (e.g. Freeze & Cherry, 1979, *apud* Thomé e Knop, 2008). Fetter (1998) atrela a atenuação como um processo que pode transformar ou remover a massa do contaminante, resultando na redução da massa do produto original.

## 5. MATERIAL E MÉTODO

Na presente pesquisa, foram analisadas as avaliações de passivo ambiental realizadas em postos revendedores de combustível no Estado do Paraná, feitas por uma empresa de consultoria ambiental. O estudo envolveu os casos avaliados no período de março de 2019 a dezembro de 2023, com consulta ao banco de dados interno da empresa. As informações são sigilosas e, dessa forma, não serão divulgados os nomes dos empreendimentos, assim como sua localização específica ou dados que permitam a identificação do local. Assim, as investigações de passivo ambiental foram separadas entre avaliação confirmatória e detalhada, as quais possibilitaram a identificação dos empreendimentos com constatação de contaminação decorrente da atividade de comércio varejista de combustíveis para veículos automotores. Para as investigações detalhadas, foram analisados parâmetros como a localização do empreendimento (urbano ou rodovia/estrada), unidade aquífera onde as áreas de interesse se encontram, período de atividade do posto, compartimentos ambientais impactados, nível médio da água subterrânea estabilizado, substâncias químicas de interesse (BTEX, PAH e TPH comparados aos valores de intervenção da Resolução vigente do Paraná, atualmente Resolução SEDEST 03/2020, com exceção do município de Curitiba, que realiza comparação direta com os valores de intervenção do Decreto Municipal 1.190/2004), possíveis fontes de contaminação atreladas e existência ou não de risco à saúde humana, além de possíveis características físicas da área.

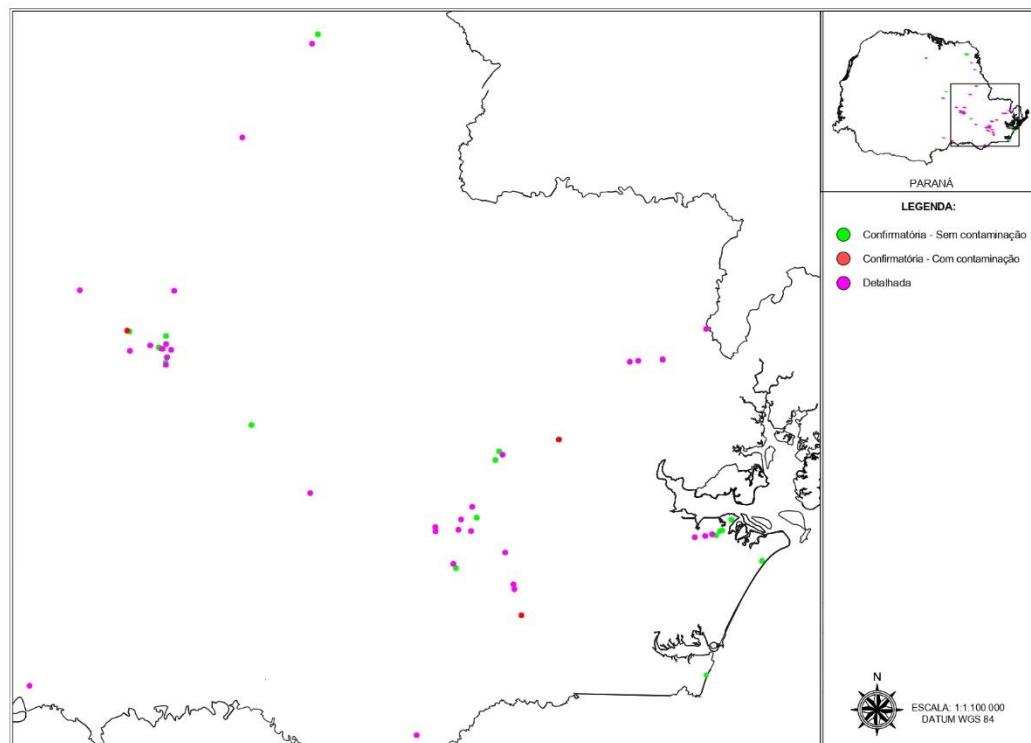
Após o levantamento, foram selecionados dois estudos de caso considerados relevantes, com o objetivo de permitir uma análise crítica e comparativa. Os estudos de caso abrangem áreas contaminadas com análise de risco à saúde humana elaborada a partir das Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação conforme CETESB em sua Decisão de Diretoria nº038/2017/C de 07 de fevereiro de 2017. Os estudos de caso foram selecionados considerando aspectos como: características do meio físico, fontes primárias geradoras da contaminação, meio impactado, forma que o contaminante se comporta no meio, até as consequências geradas quanto a presença/ausência de risco à saúde humana e formas de prevenção. Assim, buscou-se evidenciar como as fontes primárias de contaminação estão relacionadas com o risco à saúde humana, englobando o modelo conceitual detalhado da contaminação, assim como destacar que grande parte da contaminação pode ser evitada com uma gestão eficaz do empreendimento, vistorias periódicas, reparos quando necessário e equipamentos de controle ambiental, evitando/minimizando o passivo ambiental e consequente custo diante da necessidade de intervenção por processos de remediação.

As pesquisas para embasamento teórico utilizaram as bases de dados Scielo, Web of Science, Scopus, Google Acadêmico, Portal Periódico CAPES e portal da biblioteca da USP, utilizando artigos científicos, relatórios técnicos, dissertações, além da legislação ambiental com foco na Resolução SEDEST 03/2020, CONAMA e CETESB. Os mapas foram elaborados utilizando o *software* AutoCad, a partir da base de dados disponibilizada pelo Instituto Água e Terra – IAT referente à geologia, hidrografia, topografia, entre outros, juntamente com as coordenadas dos empreendimentos analisados.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foram analisados 66 relatórios que se encaixam no proposto e que englobam duas frentes, sendo uma delas a Avaliação Preliminar e Confirmatória de Passivo Ambiental e a outra a Investigação Detalhada de Passivo Ambiental com Análise de Risco à Saúde Humana. Nesse caso, cerca de 42% (28 relatórios) estiveram atrelados à primeira frente, e cerca de 58% (38 relatórios) referentes à segunda frente citada. Os resultados foram subdivididos em empreendimentos localizados em área urbana e os postos de estrada/rodovia. Em área urbana, esses empreendimentos tendem a possuir uma área total e construída menor, volume de armazenamento subterrâneo de combustível menor, com possível atividade de lavagem de veículos e troca de óleo inclusas, que geralmente atendem moradores de centros urbanos. Por outro lado, os postos de estrada/rodovia realizam a venda de combustível direcionada principalmente para veículos de grande porte, com consequente volume de armazenamento subterrâneo de combustível e movimentação média de combustível maior, lavagem de para brisas de caminhões, possível atividade de lavagem, troca de óleo e borracharia inclusas, além de estacionamento e área total e construída maior. Na Figura 4, está representada a distribuição dos estudos analisados, com foco na região leste do Paraná, onde se encontram a maior parte das investigações realizadas.

Figura 4 –Localização dos empreendimentos analisados quanto à presença/ausência de contaminação



Fonte: a autora, 2024

## **6.1 Avaliação Preliminar e Confirmatória de Passivo Ambiental**

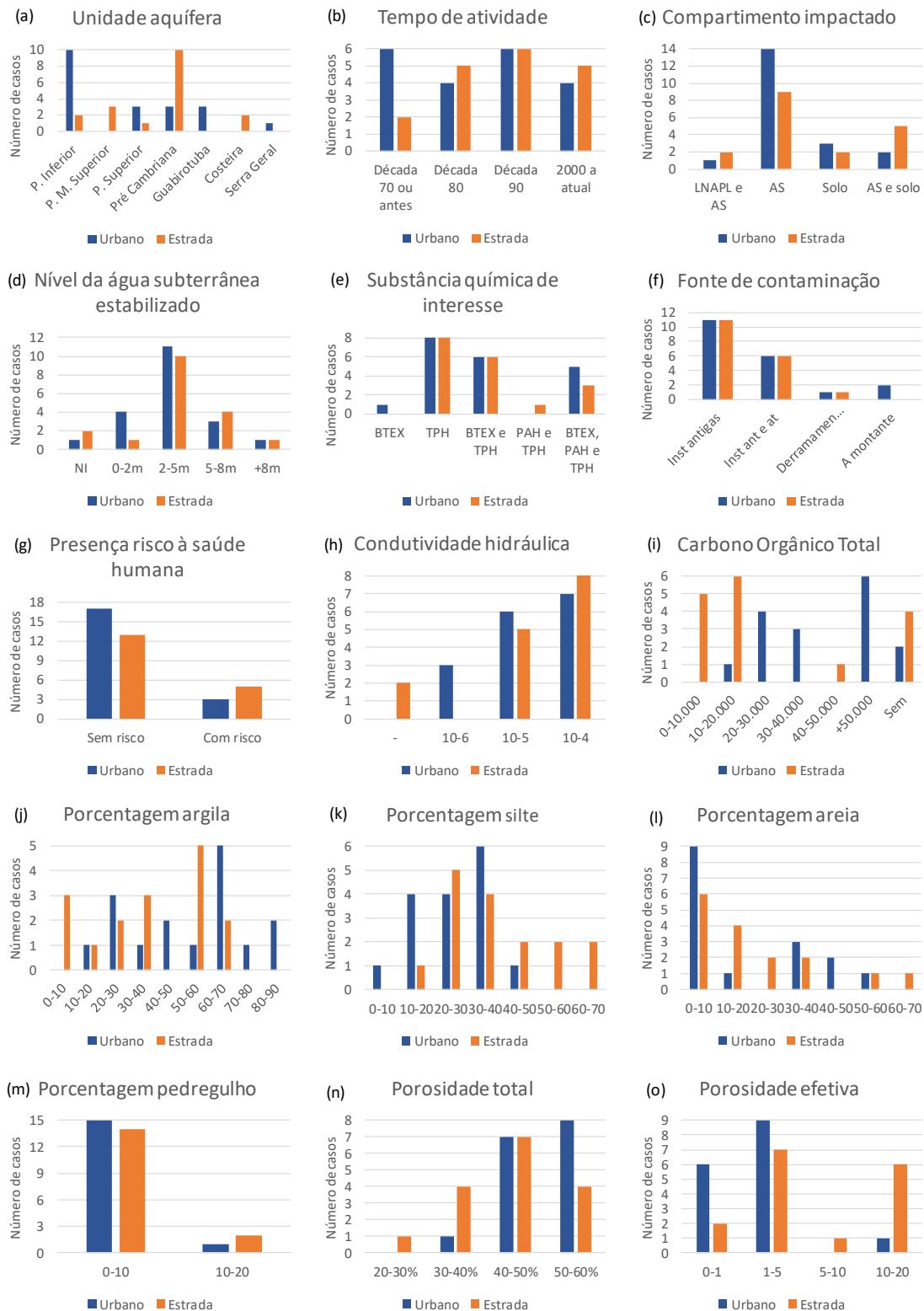
Em relação à Avaliação Preliminar e Confirmatória, grande parte não teve constatação de qualquer indício de contaminação, tanto organoléptica quanto a partir das análises químicas. Entretanto, em 3 dos 28 relatórios analisados foram observadas concentrações de parâmetros (BTEX, PAH e/ou TPH) acima dos valores de intervenção da resolução vigente, além da presença de fase imiscível de produto no meio. Diante disso, é necessária a elaboração e apresentação do relatório de Investigação Detalhada ao órgão ambiental competente, em até 120 dias após apresentação da Avaliação Preliminar e Confirmatória. Entretanto, não se tem conhecimento quanto à continuação dos 3 referidos casos. Dos demais 25 casos em que não foi identificada contaminação atual, 7 possuem histórico de contaminação, tendo em vista que 2 apresentaram aporte de fase livre de produto no meio, 2 foram observadas concentrações de parâmetros analisados para o compartimento solo e água subterrânea acima dos valores orientadores da resolução vigente e em 3, apenas para água subterrânea. Desses 7 casos, 5 se encontravam em área urbana e 2 em estrada/rodovia, com início das atividades entre 1975 e 2004. Além disso, notou-se que apenas em 1 dos casos no qual houve presença de fase livre, ocorreu processo de remediação utilizando o método de *autopump*, enquanto nos demais casos não houve intervenção humana, ocorrendo atenuação natural pelo meio. Quanto aos demais 18 casos, nos quais não há histórico e não há contaminação, 13 encontram-se em área urbana e 5 em estrada/rodovia, com início das atividades entre 1954 e 2017. O histórico de contaminação condiz com o que os atuais proprietários do empreendimento têm acesso e conhecimento, sem invalidar a possibilidade de ocorrência pretérita.

## **6.2 Investigação Detalhada de Passivo Ambiental**

Nas áreas em que ocorreram a confirmação quanto à contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo em solo ou água subterrânea, foi elaborado o relatório de Investigação Detalhada de Passivo Ambiental com Análise de Risco à Saúde Humana. Os 38 casos dessa frente focaram inicialmente em parâmetros condizentes com a localização do empreendimento (urbano ou estrada/rodovia), unidade aquífera onde as áreas de interesse se encontram, período de atividade do posto, compartimentos ambientais impactados, nível médio da água subterrânea estabilizado, substâncias químicas de interesse, as possíveis fontes de contaminação atreladas e a existência ou não de risco à saúde humana. Dos 38 casos, 32 possuíam amostra deformada e indeformada do solo, os quais tiveram também as características físicas e granulométricas do

solo levantadas. O resumo com a comparação entre os parâmetros analisados para área urbana e estrada/rodovia se encontram nos gráficos presentes na Figura 5.

Figura 5 - Resumo dos resultados obtidos a partir dos parâmetros analisados em postos em área urbana e de estrada



Fonte: a autora, 2024.

Dos 38 casos analisados, 20 empreendimentos estão atrelados a postos de centro urbano, enquanto 18 se encontram em estradas/rodovias. Dos 20 postos em área urbana, observou-se que a maioria se encontrava sobre a Unidade Aquífera Paleozóica Inferior (10 casos). Seis casos iniciaram suas atividades na década de 70 ou antes, 4 na década de 80, 6 na década de 90, e 4 a partir do ano 2000. Observou-se que a contaminação prevalece dissolvida em água subterrânea, tendo em vista que 14 casos apresentaram concentração apenas em água subterrânea, 3 apenas em solo (tendo em vista que 1 caso não ocorreu a interceptação do nível freático pelas sondagens realizadas), 2 em solo e água subterrânea, além de 1 caso em que foi observada fase livre de produto em água, além de dissolvida. O nível de água estabilizado do aquífero livre se encontra majoritariamente entre 2,0 e 5,0 m (14 casos). Quanto aos parâmetros, notou-se prevalência de pontos contaminados por TPH, seguindo por BTEX e então por PAH, considerando que 8 casos apresentaram apenas presença de TPH, 1 apenas para BTEX, 6 para TPH e BTEX, e 5 para TPH, BTEX e PAH. Em maioria, as fontes de contaminação estão atreladas às antigas instalações (11 casos), seguindo por contaminação advinda das antigas e atuais instalações (6 casos), além de poucos casos de derramamentos pontuais ou com contaminação a montante do empreendimento. Dos 20 casos, 17 não apresentaram risco à saúde humana, enquanto 3, apresentaram.

Quanto à granulometria do solo, argila apresentou na maior parte dos casos entre 60 e 70% (5 casos), silte entre 30 e 40% (6 casos), areia entre 0 e 10% (9 casos) e pedregulho entre 0 e 10% (15 casos). Quanto à condutividade hidráulica do local, 7 casos apresentaram na ordem  $10^{-4}$  cm/s, 6 casos na ordem  $10^{-5}$  cm/s e 3 casos na ordem  $10^{-6}$  cm/s. Quanto à porosidade total, 8 entre 50 e 60%, 7 casos apresentaram porosidade entre 40 e 50%, e 1 entre 30 e 40%, enquanto a porosidade efetiva na maioria dos casos se encontrava entre 1-5% (9 casos), seguida por 0-1% (6 casos), e então por 10-20% (1 caso). Já o carbono orgânico total, 2 casos não foram analisados, 1 caso possuía de 10.000 a 20.000mg/kg, 4 de 20.000 a 30.000mg/kg, 3 de 30.000 a 40.000mg/kg e 6 acima de 50.000mg/kg.

Dos 18 postos localizados em estrada/rodovia, observou-se que a maioria se encontrava sobre a Unidade Aquífera Pré Cambriana (10 casos). Dois casos iniciaram suas atividades na década de 70 ou antes, 5 na década de 80, 6 na década de 90 e 5 a partir do ano 2000. A contaminação está distribuída entre os compartimentos de forma que, em 9 casos houve presença de contaminação dissolvida apenas em água subterrânea, em 2 casos apenas solo (os quais não ocorreu a interceptação do nível freático), em 5 casos observou-se os meios água subterrânea e solo contaminado, e em 2 casos foi observada fase livre de produto em água, além de dissolvida. O nível da água estabilizado do aquífero livre se encontra majoritariamente entre

2,0 e 5,0 m (10 casos). Quanto aos parâmetros, prevaleceu a ocorrência de TPH, seguida por BTEX e então por PAH, tendo em vista que em 8 casos observou-se apenas TPH, em 6 BTEX e TPH, em 1 PAH e TPH, e em 3 BTEX, PAH e TPH. Em relação as fontes primárias de contaminação, em sua maioria estão atreladas às antigas instalações (11 casos), seguindo por contaminação decorrente das antigas e atuais instalações (6 casos) e então derramamento pontual (1 caso). Dos 18 casos, 13 não apresentam risco à saúde humana, enquanto 5 apresentam.

Dos 18 casos em estrada/rodovia, 16 possuem ensaio de solo deformado e indeformado. Assim, quanto a granulometria, argila apresentou na maior parte dos casos entre 50 e 60% (5 casos), silte entre 20 e 30% (5 casos), areia entre 0 e 10% (6 casos) e pedregulho entre 0 e 10% (14 casos). Quanto à condutividade hidráulica no local, 9 casos apresentaram na ordem  $10^{-4}$  cm/s, 5 casos na ordem  $10^{-5}$  cm/s e 2 casos não interceptaram o lençol freático. Quanto a porosidade total, 7 casos apresentaram entre 40 e 50%, 4 entre 30 e 40%, 4 entre 50 e 60%, e 1 entre 20 e 30%, enquanto a porosidade efetiva na maioria dos casos se encontrava entre 1 e 5% (7 casos), 10 e 20% (6 casos), 0 e 1% (2 casos) e 5 a 10% (1 caso). Já o carbono orgânico total, 5 apresentaram entre 0 a 10.000mg/kg, 6 entre 10.000 e 20.000mg/kg, 1 entre 40.000 e 50.000mg/kg e 4 não foram analisados.

Independente das características e porte do empreendimento, os resultados são similares para postos em área urbana e de rodovia/estrada, principalmente no que diz respeito às análises quanto ao tempo de atividade, compartimento ambiental impactado, nível da água subterrânea estabilizado (aquéfero livre), substância química de interesse, fonte de contaminação e presença/ausência de risco (Figura 5b a 5g). Quanto ao carbono orgânico total (COT) (Figura 5i), nota-se que ocorre presença de maiores concentrações em área urbana, tendo em vista que, conforme Mater et al. (2001) *apud* Frena (2008), geralmente altas porcentagens de partículas finas estão associadas a um elevado teor de COT, visto que adsorvem a matéria orgânica. Por outro lado, a areia é considerada inerte e não adsorve quantidades significativas de matéria orgânica, condizendo assim com os resultados apresentados na Figura 5j a 5l, em que a área urbana apresentou predomínio de solo argiloso.

A principal fonte primária de contaminação observada no levantamento de casos está atrelada às antigas instalações dos empreendimentos, quando a legislação era mais branda e, segundo Oliveira (1992), os tanques eram construídos em chapas de aço simples e possuíam uma vida útil de aproximadamente 20 anos. Segundo Cole (1994), nessa idade há maiores chances de apresentar vazamento em virtude da corrosão e a inviabilidade do monitoramento contínuo aumenta a chance de não perceber o vazamento diante das instalações subterrâneas.

Junto aos tanques de parede simples, eram utilizadas tubulações de ferro galvanizado que interligavam a boca de descarga até o tanque no ato do descarregamento de combustível, bem como dos tanques até as bombas de abastecimento e filtros, com grande probabilidade de corrosão. Grande parte dos casos de corrosão também ocorrem na conexão da tubulação com a boca de descarga de combustível, casos em que dificilmente são detectados os vazamentos mesmo com execução de testes de estanqueidade.

Com a regulamentação da Resolução CONAMA nº 237/2000, a instauração de normas técnicas para melhor adequar os equipamentos, infraestrutura das instalações e técnicas de investigação em solo e água subterrânea, possibilitou um avanço tecnológico e organizacional a fim de evitar passivos ambientais decorrentes da atividade. Entretanto, na sequência das antigas instalações, observou-se que fontes primárias de contaminação corriqueiras estão relacionadas às atuais estruturas do empreendimento. Essas estruturas condizem tanto com a má instalação dos equipamentos, quanto com a falta de manutenção e reparos dos equipamentos e infraestruturas, além da falta de treinamento dos funcionários. Os exemplos observados no levantamento de dados estão atrelados a bombas de abastecimento e filtro de diesel instalados sobre piso permeável, *boots* de bombas ou filtros danificados, comprometendo a vedação, tubulação corroída, *sump* de contenção de vazamento com produto decorrente de vazamento/falha na conexão, trincas e fissuras no piso impermeável, canaletas de drenagem de efluente oleoso tortas e danificadas, CSAO em material inapropriado ou sem impermeabilização em volta, vala de inspeção não impermeabilizada ou danificada, boca de descarga de combustível com cruzeta quebrada, ou seja, ponto de conexão onde a mangueira é conectada para descarregamento de combustível danificado, facilitando a ocorrência de vazamento. Observou-se água com produto no *sump* da boca de visita dos tanques subterrâneos, além de improviso quanto ao fechamento de tubulações do *sump* e base permeável ao redor do *sump*, danos na estrutura dos poços de monitoramento existentes, como a tampa quebrada ou câmara de calçada a qual deveria estar vedando o poço.

A CETESB cita fatores operacionais que contribuem com a possível geração de contaminação, como controle de estoque através do método manual, visto que não há confiabilidade total, pois as variações de volume podem não ser notadas ou serem associadas à evaporação do produto; o vazamento durante o ato de abastecimento, em destaque as falhas operacionais ligadas ao acionamento do sistema automático de bloqueio quanto ao fluxo dos bicos e movimentação do veículo; e o vazamento durante o descarregamento de combustível junto à descarga, devido ao transbordamento do tanque ou do derramamento do produto que se encontrava na tubulação do caminhão tanque, ao final da operação.

Maranhão et al. (2007) citam que a contaminação nos compartimentos ambientais é, em grande parte dos casos, advinda de tanques e tubulações subterrâneas, além de extravasamentos junto às bombas e bocas de descarga. Os autores acrescenta que, conforme estudo elaborado pela CETESB referente às causas dos acidentes nos postos de combustíveis no Estado de São Paulo de 1984 a novembro de 2006, as porcentagens se referem a tanques 31,5%, passivo ambiental 17,7%, tubulação 16,3%, extravasamento 8,1%, descarte 5,4%, outros 5,4%, desativado 4,6%, tubulação e tanque 4,0%, bomba 3,0%, não identificada 2,1% e caixa separadora 1,8%. Além disso, eles relacionam o vazamento em tanques principalmente à corrosão em pontos de solda das chapas, por agentes do subsolo como acidez, salinidade, umidade, correntes elétricas, flutuação do nível freático, entre outros, tendo em vista que 91% dos tanques subterrâneos corroem a partir do seu exterior e 9% a partir da parte interna, sendo a oxidação mais intensa na parte vazia dos tanques diante da presença de oxigênio.

Santos (2005) apresentou a questão de um posto construído em 1997, com grande parte dos equipamentos tecnológicos em termos de controle e prevenção de vazamentos e derrames. Entretanto, diante da inadequada gestão ambiental na operação, o vazamento só foi detectado quando o impacto já havia extrapolado os limites do terreno do posto. A fonte primária de contaminação identificada foi a instalação incorreta do tanque de combustível, tendo em vista que o controle de estoque de produto no tanque era manual e apresentou falta de produto. Entretanto, esse aspecto foi negligenciado, visto que o tanque não foi instalado na horizontal inviabilizando a correta leitura do volume, evidenciando a falta de gerenciamento no período das obras com consequente não conformidade. A tubulação de produto provavelmente não foi bem assentada no solo, o que possibilitou o seu rompimento e consequente vazamento. O autor acrescentou que o relatório de março de 2003 do “General Accounting Office (GAO)” emitido pelo Congresso Americano, informou que entre 19 a 26% dos tanques nos postos revendedores dos EUA possuíam problemas de vazamentos, mesmo instalados com equipamentos de prevenção e detecção, aproximadamente 28% não estavam sendo operados e mantidos corretamente. O autor complementa que a principal razão é a dificuldade dos operadores com equipamentos mais tecnológicos, não realizando a manutenção preventiva e muitas vezes, deixando fora de operação, com agravamento no Brasil visto que grande parte dos equipamentos são importados, e os serviços de manutenção ficam sob responsabilidade dos fabricantes, os quais não possuem comprometimento.

Diante dos inúmeros fatos que contribuem para a geração de contaminação dos compartimentos ambientais, o Órgão Ambiental Estadual do Paraná está cada vez mais rigoroso com os processos de construção e operação dos postos revendedores, assim como com o

monitoramento contínuo. Assim, constam na Resolução SEDEST 03/2020, exigências quanto aos aspectos locacionais do próprio empreendimento e dos elementos notáveis (equipamentos), memorial descritivo do SASC, contendo especificações dos equipamentos conforme normas da ABNR NBR em vigência (tanques, sistemas de monitoramento, proteção e detecção de vazamento e tubulações), certificado da empresa instaladora junto ao Inmetro, plano de controle ambiental, laudo de estanqueidade e hidrostático, plano de gerenciamento de risco, plano de manutenção dos equipamentos, sistema e procedimentos operacionais do SASC, relatório técnico de implantação das medidas de controle, anuênciaria ligação do efluente tratado da caixa separadora de água e óleo, RMO, plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS), relatório de vistoria técnica, entre outros. Percebe-se assim que há procedimentos necessários para uma boa instalação e funcionamento do empreendimento a fim da prevenção de passivos ambientais, os quais devem ser cumpridos e bem gerenciados para obter resultado eficaz.

### **6.3 Seleção de estudo de caso**

Diante do levantamento e análise das avaliações de passivo ambiental realizadas pela empresa de consultoria ambiental privada, em áreas com atividade de postos revendedores de combustível no Estado do Paraná, foram selecionados dois casos considerados relevantes para uma análise comparativa. Esses casos foram classificados pertinentes diante de um conjunto de fatores os quais englobam principalmente as fontes primárias geradoras da contaminação, assim como o meio impactado, forma que o contaminante se comporta no meio, até as consequências geradas e formas de prevenção.

#### **6.3.1 Contextualização Estudo de Caso 1**

O primeiro estudo de caso selecionado se trata de uma investigação detalhada de passivo ambiental com análise de risco à saúde humana, com foco em água subterrânea. A área de estudo selecionada se refere a um posto de combustível localizado na margem de uma rodovia, com seu entorno imediato marcado predominantemente pela presença de vegetação, corpo hídrico e indústria. A atividade na área ocorre desde a década de 90, tendo em vista que se tem acesso ao histórico ambiental do local a partir do ano de 2008, quando já foi constatada presença de BTEX e PAH acima dos valores estipulados pela Resolução vigente. Posteriormente, notou-se presença de fase livre de produto, além de contaminação dissolvida em água subterrânea e retida em solo, iniciando um processo de remediação por Extração Multifásica (MPE), o qual

permaneceu em funcionamento por cerca de 1 ano. Poucos anos depois, foi necessário um novo processo de remediação, o qual durou cerca de 2 anos e meio, também por MPE, alcançando os resultados desejados quanto à extração da fase livre de produto e mantendo as concentrações em água dissolvida abaixo das concentrações máximas aceitáveis (CMA) para o local.

O empreendimento conta com 2 pistas de abastecimento, 6 tanques subterrâneos de combustível de 30 m<sup>3</sup> cada, 6 bombas de abastecimento, 3 filtros de óleo diesel e valas de inspeção para troca de óleo. O posto tem equipamentos de controle ambiental como tanques subterrâneos com *sump* nas bocas de visita, *spill* nas bocas de descarga, monitoramento intersticial e todas as bombas e filtros possuem *sump* e sensor de monitoramento. O controle de movimentação de combustível no local é realizado por meio eletrônico e o material das linhas de combustível é em PEAD. O piso das pistas de abastecimento, assim como áreas de tancagem e troca de óleo, é impermeável com canaletas de drenagem ligadas à 3 CSAOs. O efluente oleoso tratado proveniente das CSAOs é encaminhado para galeria de drenagem pluvial, a água que abastece o empreendimento é proveniente de poço tubular existente no terreno, e o efluente doméstico é direcionado para o sistema completo de tratamento.

Em trabalhos anteriores, foram realizadas sondagens da área foco de estudo, a fim de um melhor entendimento quanto à litologia local e amostragem para verificação da qualidade do solo, o qual resultou em concentrações abaixo dos valores de intervenção da resolução vigente. Ao analisar os perfis litológicos na extensão da área de estudo, notou-se predomínio de solo com granulometria de argila com areia em uma profundidade até cerca de 2 m, sobreposta a um solo com argila, silte, areia e pedregulho até a base das perfurações, as quais atingiram cerca de 7,5 m. Localiza-se sobre a Unidade Aquífera Costeira, constituída por sedimentos de origem marinha e eólica, por uma sucessão de cordões arenosos dispostos, paralelamente, à linha de costa, formando dunas irregulares. Na costa atual das baías e estuários, é comum a ocorrência de áreas planas formadas por sedimentos argilo-arenosos. Também são frequentes os leques aluviais formados pelos afluentes que descem das serras. Na parte inferior, mais próximo das baías, as planícies são mais amplas, atingindo larguras superiores a um quilômetro. Os aquíferos freáticos são representados pelos cordões arenosos e pelas dunas irregulares, cuja zona saturada varia entre 10 e 30 m de espessura. O aquífero se caracteriza por ser poroso, com características de depósitos predominantemente arenosos.

Atualmente, foram localizados 43 poços de monitoramento na área do empreendimento, e observou-se que o sentido preferencial do fluxo da água subterrânea é de sudeste para noroeste, sendo o nível médio da água subterrânea estabilizada de 2,69 m. Foram realizados ensaios de condutividade hidráulica nos poços de monitoramento, objetivando determinar a

condutividade horizontal através do ensaio do tipo carga variável “*Bail-test*”, no qual foi retirado um volume conhecido da água e acompanhada a estabilização do nível da água e assim, a condutividade hidráulica média obtida para o local permaneceu na ordem de  $10^{-5}$  cm/s, o que, segundo Fetter (1994), caracteriza um solo com argila, silte e areia. Em amostragem de solo em ponto entre as duas pistas para análise física, em uma profundidade de 2 m, observou-se cerca de 57% de argila, 22% de silte, 16% de pedregulho e demais de areia, resultando em uma porosidade total de cerca de 30% e porosidade efetiva de 1,75%, com densidade de 1,7 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 25,3% e carbono orgânico total de 8.840 mg/kg. A amostragem de água subterrânea dos poços de monitoramento e do poço artesiano foram feitas por técnicos de laboratório e as amostras foram armazenadas em frascos específicos para BTEX, PAH e TPH Total, com TPH Fracionado em determinados pontos.

### **6.3.2 Contextualização Estudo de Caso 2**

O segundo estudo de caso selecionado se refere a uma investigação detalhada de passivo ambiental com análise de risco à saúde humana, contemplando solo e água subterrânea. A área de estudo se refere a um posto de combustível localizado em centro urbano, com seu entorno imediato marcado predominantemente pela presença de edificações residenciais e comerciais. A única informação referente ao histórico ambiental diz respeito à contaminação no ano de 2013 no local, sem maiores esclarecimentos. Entretanto, levantou-se junto ao proprietário que a atividade na área ocorre desde a década de 60, quando possuía revestimento da área dos tanques subterrâneos e pista de abastecimento em paralelepípedo, tanques de parede simples com linhas galvanizadas e bombas sem presença de *sump* de contenção de vazamento. Anteriormente à atividade de posto revendedor, havia instalação de oficina mecânica no local e, adjacente a área do posto, considerando a direção do fluxo da água subterrânea, possuía edificação de oficina mecânica pesada até, pelo menos, o ano de 2012.

O empreendimento possui 1 pista de abastecimento, 2 tanques subterrâneos de combustível, 2 bombas, 1 filtro de óleo diesel, 1 box para troca de óleo e 1 tanque subterrâneo de óleo queimado. O empreendimento possui equipamentos de controle ambiental como tanques com parede dupla, *sump* nas bocas de visita e *spill* nas bocas de descarga, e todas as bombas e filtro possuem *sump* de contenção de vazamento. O controle de movimentação de combustível no local é realizado por meio manual e o material das linhas de combustível é em PEAD. O piso da pista de abastecimento, assim como área de tancagem e troca de óleo, é impermeável com canaletas de drenagem ligadas à 1 CSAO. O efluente oleoso tratado

proveniente da CSAO é encaminhado para a rede de drenagem pluvial, a área é abastecida por água pela rede de água da Companhia de Saneamento, e os efluentes domésticos gerados são encaminhados para a rede pública de esgoto do município.

Foram realizadas sondagens na área com trados sólidos mecanizados, a fim de um melhor entendimento quanto à litologia local e amostragem para verificação da qualidade do solo. Ao analisar os perfis litológicos, os quais apresentaram profundidades variando entre 4 e 7 m, observa-se incidência de um solo com predomínio de granulometria argilosa plástica, com partes da área investigada apresentando solo com granulometria de argila e silte. Localiza-se sobre a Unidade Aquífera Paleozóica Superior que, segundo o Instituto das Águas do Paraná, comprehende rochas do Grupo Passa Dois (Formação Iriti, Serra Alta, Terezina e Rio do Rasto) representadas principalmente por argilitos, folhelhos, lamitos, siltitos, calcários e arenitos e calcarenitos. O aquífero é caracterizado como fraturado/poroso e possui uma porosidade primária com rochas arenosas e presença de estruturas secundárias seccionando as rochas sedimentares.

Atualmente, 16 poços de monitoramento estão instalados na área do empreendimento e no seu entorno imediato e, a partir de suas cotas geométricas e nível da água subterrânea estabilizado, foi possível definir o sentido preferencial do fluxo da água subterrânea sendo noroeste para sudeste, e o nível médio da água subterrânea foi de 1,56 m. Foram realizados ensaios de condutividade hidráulica nos poços de monitoramento objetivando determinar a condutividade horizontal por meio do ensaio do tipo carga variável “*Bail-test*”. A condutividade hidráulica média obtida para o local permaneceu na ordem de  $10^{-4}$  cm/s, o que, segundo Fetter (1994), caracteriza um solo com argila, silte e areia. Em amostragem de solo com profundidade 2 m, observou-se a granulometria do solo composta por cerca de 62,5% de argila, 31,5% de silte, 5,3% de areia e demais de pedregulho, resultando em uma porosidade total de 55,5%, porosidade efetiva de 0,71%, com densidade de 1,135 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 53,8% e carbono orgânico total de 22.632 mg/kg.

A execução das sondagens e instalação dos poços de monitoramento foram realizadas em três etapas, com objetivo de delimitar a pluma de contaminação constatada na campanha de análises químicas realizada anteriormente, com análise de BTEX, PAH e TPH *Finger Print* dos poços de monitoramento existentes na área. Dessa forma, a primeira etapa dos trabalhos ocorreu com amostragem de solo e de água subterrânea dos poços de monitoramento instalados para os mesmos parâmetros citados. Diante dos resultados das análises químicas, seguiu-se as próximas etapas englobando a análise de solo e água para BTEX, PAH, TPH Total e Fracionado,

realizando uma nova coleta nos poços anteriormente amostrados, para análise também de TPH Fracionado.

### 6.3.3 Resultados dos Estudos de Caso 1 e 2

A Tabela 2 apresenta o resumo dos resultados analíticos quanto aos parâmetros de BTEX, PAH e TPH Total que obtiveram concentrações acima dos valores orientadores da Resolução vigente, e as concentrações das frações de TPH Fracionado que estão presentes na planilha para avaliação de risco à saúde humana da CETESB, e se encontram acima do limite de quantificação do método do laboratório nos Estudos de Caso. Nas Figuras 6 a 8, estão representadas as plantas dos estudos de caso, com as plumas de contaminação *in loco*, e nas Tabelas 3 e 4 estão os modelos conceituais detalhados para os estudos de caso 1 e 2, respectivamente.

Tabela 2 - Substâncias Químicas de Interesse Água Subterrânea e Solo (continua)

Parâmetro	Água Subterrânea				SEDEST 03/2020
	Estudo de Caso 1		Estudo de Caso 2		
	Pontos afetados	Concentração máxima	Pontos afetados	Concentração máxima	
Benzeno	02	19 µg/L	07	2.068 µg/L	5 µg/L
Tolueno	-	-	02	4.702 µg/L	700 µg/L
Etilbenzeno	-	-	06	3.184 µg/L	300 µg/L
Xilenos	-	-	06	11.536 µg/L	500 µg/L
Criseno	08	0,59 µg/L	-	-	0,05 µg/L
Naftaleno	-	-	02	1.638 µg/L	140 µg/L
TPH Total (C10 a C40)	16	36.111 µg/L	05	26.567 µg/L	600 µg/L
Alifáticos C9 a C18	13	12.138 µg/L	04	4.133 µg/L	Conc>LQ
Alifáticos C19 a C32	13	6.212 µg/L	04	1.748 µg/L	Conc>LQ
Aromáticos C9 a C10	13	1.279 µg/L	04	106 µg/L	Conc>LQ
Aromáticos C10 a C32	12	8.699 µg/L	04	1.465 µg/L	Conc>LQ
Alifáticos C5 a C8	01	53 µg/L	08	33.633 µg/L	Conc>LQ

Fonte: a autora, 2023.

Tabela 2 - Substâncias Químicas de Interesse Água Subterrânea e Solo (continuação)

Parâmetro	Solo		SEDEST 03/2020
	Pontos afetados	Estudo de Caso 2 Concentração máxima	
Benzeno	07	12,764 mg/kg	0,08 mg/kg
Etilbenzeno	01	59,038 mg/kg	40 mg/kg
Xilenos	03	414,005 mg/kg	30 mg/kg
Alifáticos C9 a C18	02	426,5 mg/kg	Conc > LQ
Alifáticos C19 a C32	02	426,9 mg/kg	Conc > LQ
Aromáticos C9 a C10	02	28,6 mg/kg	Conc > LQ
Aromáticos C10 a C32	02	138,5 mg/kg	Conc > LQ
Alifáticos C5 a C8	05	176,4 mg/kg	Conc > LQ

Fonte: a autora, 2023.

Figura 6 - Planta do empreendimento com pluma dissolvida em água subterrânea - Estudo de Caso 1



Fonte: a autora, 2023.

Tabela 3 - Modelo Conceitual Detalhado - Estudo de Caso 1

Modelo Conceitual Detalhado						
Identificação da área AP / AC	Fontes primárias	Mecanismos primários de liberação	Fontes secundárias	Mecanismos secundários de liberação	Caminhos de transporte dos contaminantes	Receptores
Não se aplica	Linhas de descarga à distância					
AP	Unidades de abastecimento (bombas)	Infiltração no solo proveniente de atividades pretéritas	Solo contaminado	Advecção, difusão e dispersão	Solo e água subterrânea	Comercial
AC	Sistema de filtragem de diesel					
AP	Linhas de sucção de combustível					
AP	Tanques					
AP	Caixa separadora de água e óleo	Infiltração no solo por possível trinca ou transbordamento				
AP	Sistema de drenagem oleosa	Infiltração no solo por possível transbordamento				
AP	Base de respiros	Infiltração no solo				
AP	Local de armazenamento de óleo usado	Infiltração no solo por possível vazamento	Solo contaminado	Advecção, difusão e dispersão	Solo e água subterrânea	Comercial
AC	Área de lubrificação e troca de óleo	Infiltração no solo por possível trinca - pretérita				
AC	Estrutura poços de monitoramento	Infiltração por possível trinca				
Não se aplica	Lavagem de veículos	-				

Fonte: a autora, 2023.

Para o Estudo de Caso 1, conforme levantamento de dados referentes ao histórico, notou-se que a contaminação na área já existia em fase livre há um tempo considerável, sendo que os pontos mais críticos se encontravam entre as bombas de abastecimento e as rampas de inspeção na pista de diesel, área pela qual passou por processo de remediação. Cerca de 6 meses antes da finalização da remediação no local, ocorreram reparos no empreendimento envolvendo a impermeabilização das valas de inspeção com concreto usinado e manta de fibra, assim como da estrutura de bacia de contenção dos filtros de óleo diesel. Após os reparos citados, ocorreu a diminuição significativa até estagnação da retirada de produto do meio, constatando-se que possível fonte primária de contaminação no local era das instalações citadas, atualmente estanques. Além disso, ocorreu um aumento das concentrações de TPH em um determinado ponto e, ao investigar o motivo, notou-se que a câmara de calçada do poço de monitoramento encontrava-se danificada, o que pode ter colaborado com a infiltração de contaminante no meio e consequente aumento nas concentrações.

Figura 7 - Planta do empreendimento com pluma retida em solo - Estudo de Caso 2



Fonte: a autora, 2023.

Figura 8 - Planta do empreendimento com pluma dissolvida em água subterrânea - Estudo de Caso 2



Fonte: a autora, 2023.

Tabela 4 - Modelo Conceitual Detalhado - Estudo de Caso 2

Identificação da área AP / AC	Fontes primárias	Mecanismos primários de liberação	Fontes Secundárias	Mecanismos secundários de liberação	Caminhos de transporte dos contaminantes	Receptores
Não se aplica	Linhas de descarga à distância					
AP	Unidades de abastecimento (bombas)					
AC	Antigas bombas					
AP	Sistema de filtragem de diesel	Infiltração no solo proveniente de atividades pretéritas e recentes	Solo contaminado	Advecção, difusão e dispersão	Solo e água subterrânea	Comercial e residencial
AP	Linhas de sucção de combustível					
AC	Tanques					
AC	Antiga área de tancagem					
AC	Caixa separadora de água e óleo	Infiltração no solo por possível trinca ou transbordamento				
AP	Sistema de drenagem oleosa	Infiltração no solo por possível transbordamento				
AP	Base de respiros	Infiltração no solo				
AP	Local de armazenamento de óleo usado	Infiltração no solo por possível vazamento	Solo contaminado	Advecção, difusão e dispersão	Solo e água subterrânea	Comercial e residencial
AC	Área de lubrificação e troca de óleo	Infiltração no solo por possível trinca – pretérita				
Não se aplica	Lavagem de veículos	-				

Fonte: a autora, 2023.

Para o Estudo de Caso 2, a partir dos resultados analíticos do compartimento solo, foi possível observar que a pluma de contaminação se encontra sobre o terreno do posto e a jusante do mesmo, principalmente, a jusante da pista de abastecimento e próximo aos tanques subterrâneos, troca de óleo e CSAO. Foi realizada análise de solo para TPH *Finger Print* na primeira etapa dos trabalhos, englobando 6 sondagens, tendo em vista que o perfil cromatográfico das amostras apresentou compostos orgânicos eluindo na faixa de querosene em 2 pontos, óleo diesel em 2 pontos e óleo lubrificante em 1 ponto. Além disso, os resultados indicaram para todos os pontos concentrações abaixo do limite de quantificação do método para HRP (Hidrocarbonetos Resolvidos de Petróleo), e concentrações de MCNR (Mistura Complexa Não Resolvida) equivalente aos valores de TPH Total, o que indica que a concentração é antiga. Em relação à água subterrânea, foi possível observar que a pluma de contaminação se encontra sobre a área do posto de combustível e a jusante do mesmo no sentido do fluxo da água subterrânea. Foi realizada análise de TPH *Finger Print* na água subterrânea proveniente de 6

poços de monitoramento, tendo em vista que o perfil cromatográfico das amostras apresentaram compostos orgânicos eluindo na faixa de querosene em 2 pontos, os quais apresentaram concentração de MCNR equivalente aos valores de TPH Total, e concentrações abaixo do limite de quantificação do método para HRP, o que indica, também, que a contaminação é antiga.

Conforme o levantamento de dados referente ao histórico junto ao proprietário e às informações obtidas nos resultados analíticos, foi possível levantar as possíveis fontes primárias da contaminação observadas no local. Foi informado pelo proprietário que, anteriormente ao atual *layout* do empreendimento, haviam tanques subterrâneos de parede simples e linhas galvanizadas localizados na pista de abastecimento e entre a pista e a loja de conveniências, com o agravante de que o material de revestimento/piso se tratava de paralelepípedo, o que facilita a infiltração do contaminante no meio caso ocorra um vazamento ou derramamento, e bombas sem *sump*. Além disso, os resultados analíticos apontam presença de querosene em solo e água subterrânea em pontos próximos à calçada, os quais resultam de possível destinação inadequada do composto quando havia instalação de mecânica e borracharia no local do posto.

Os resultados indicaram presença de óleo diesel e óleo lubrificante em solo, próximo à atual área de garagem e troca de óleo (área da antiga borracharia), e óleo diesel próxima à atual área de tancagem. Grande parte da contaminação observada se trata de contaminação residual das antigas instalações e eventos pontuais de transbordamento de efluente. Além disso, a área adjacente ao posto, a jusante das instalações, era detentora de atividade mecânica, o que pode ter contribuído para contaminação. Foi realizado ensaio de estanqueidade e hidrostático em maio de 2023, o qual constatou que os tanques e linhas encontravam-se estanques. Entretanto, o empreendimento se encontra em processo de aquisição e instalação dos sensores ambientais e respectivo aparelho de conexão.

Assim, observa-se que os estudos de caso possuem fontes primárias de contaminação antigas e recentes, as quais poderiam ter sido evitadas em sua maioria por uma gestão adequada. No Estudo de Caso 1, a impermeabilização das valas de inspeção, assim como da base dos equipamentos de abastecimento, e inspeção nos poços de monitoramento e sua infraestrutura, teria evitado o passivo ambiental atual. Quanto ao estudo de caso 2, percebe-se que é uma contaminação também advinda de atividade antiga realizada na área (oficina mecânica), tendo em vista que a inexistência de legislação para posto de combustível anteriormente impactou com a possibilidade da instalação e funcionamento do posto com pavimentação de paver, assim como a utilização de tanques subterrâneos de parede simples e linhas galvanizadas. Entretanto, quando regulamentada a legislação para postos, a gestão inadequada acarretou na permanência do passivo ambiental na área, visto a atual necessidade de medidas como instalação de

monitoramento intersticial nos tanques subterrâneos, assim como sensores ambientais nas bombas e filtros, inspeções periódicas mantendo os *sumps* de bombas limpos e secos, com manutenções nas conexões quando necessário, limpeza da CSAO, impermeabilização da área lateral da CSAO e dos *sumps* dos tanques, além da necessidade de manter as tubulações fechadas.

Assim, as fontes primárias citadas contribuíram para que os hidrocarbonetos derivados de petróleo entrassem em contato com os compartimentos ambientais por meio dos mecanismos primários de liberação, sendo elas as trincas e transbordamento em locais com áreas permeáveis próximas. O Estudo de Caso 1 apresentou contaminação apenas em água subterrânea, mas é provável que houvesse contaminação retida em solo a qual não foi identificada durante a amostragem e respectivas análises químicas, enquanto o Estudo de Caso 2 se observou fase retida no solo e dissolvida em água subterrânea. Assim, diante da presença da substância química de interesse no solo (fonte secundária de contaminação), ocorrem mecanismos secundários de liberação, como processos físicos de advecção, difusão e dispersão.

O transporte do contaminante depende da substância e concentração, meio poroso e condições ambientais. No Estudo de Caso 1, nota-se que a pluma de contaminação para TPH Total possui maior dimensão que as demais, visto que as fontes primárias de contaminação estavam atreladas ao contaminante citado. O empreendimento realiza lavagem de para brisas e parte frontal dos caminhões na pista, o que gera esgoto contendo TPH na pista e, diante da câmara de calçada do poço de monitoramento danificada, o esgoto provavelmente infiltrou no solo, assim como pela vala de inspeção e área do filtro que não estavam impermeabilizados. No Estudo de Caso 2, a concentração em solo para BTEX prevalece, assim como a pluma de contaminação em água subterrânea para esses compostos é significativamente maior, o que está atrelado também, ao comportamento de liberação do contaminante adsorvido em solo para água subterrânea, visto que conforme Marques e Guerra (2021), os hidrocarbonetos de petróleo são hidrofóbicos, ou seja, são substâncias com baixa solubilidade em água, tendendo a ficar fortemente retido na matriz do solo. NRC (1994) *apud* Marques e Guerra (2021), complementa que o produto retido na fase adsorvida em solo possui pouca mobilidade, porém atua como fonte permanente de contaminação do lençol freático diante da lenta e constante liberação de produto para as fases dissolvida e vapor. Ademais, Oliveira e Loureiro, 1998, citam que as substâncias químicas atreladas a gasolina (BTEX) apresentam maior solubilidade, maior volatilidade e menor viscosidade se comparado ao óleo diesel, consequentemente uma maior mobilidade no solo e potencial impacto.

### 6.3.4 Análise de Risco dos Estudos de Caso 1 e 2

A partir das análises químicas, quantificação de riscos associados à exposição e valores de concentrações máximas aceitáveis (CMAs) para as vias de exposição contempladas para o cenário em ambos os estudos de caso, há risco à saúde humana, em proporções diferentes. O Estudo de Caso 1 apresenta concentração acima dos valores de CMA definidos para o local para a fração Alifáticos C9 a C18 na proporção 1,08 vezes acima do valor de CMA para inalação em ambiente aberto sobre a pluma. Assim, sugeriu-se o monitoramento da água subterrânea local para acompanhamento da evolução ou regressão das concentrações, diante das incertezas e possíveis interferências envolvidas até mesmo no processo de amostragem e matéria orgânica do meio. O Estudo de Caso 2, para os receptores comerciais, apresenta concentração para inalação em ambiente aberto sobre a pluma 2 vezes acima do valor de CMA para Alifáticos C9 a C18, enquanto para inalação em ambiente fechado externo à pluma, a concentração se encontra 12 vezes acima para Alifáticos C9 a C18, e 2 vezes para Alifáticos C5 a C8, além de apresentar concentrações acima dos valores de CMA para receptores residenciais para ambiente aberto Alifáticos C9 a C18, e fechado Alifáticos C9 a C18 e Alifáticos C5 a C8, sendo necessário um plano de intervenção para remediação do local.

As frações de TPH citadas possuem apenas efeitos não carcinogênicos, ou seja, tóxicos, tendo em vista que conforme PPRTV (*Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value*) USEPA 2009, *apud* Guedes 2020, os efeitos de toxicidade para inalação de TPH para fração Alifáticos C9 a C18 condiz com hiperplasia adrenal, e para Alifáticos C5 a C8 condiz com neuropatia periférica e hiperplasia nasal. Para toxicidade oral, a fração de Alifáticos C9 a C18 gera danos aos rins e ao fígado, enquanto os Alifáticos C5 a C8 estão relacionados com a velocidade de condução de impulsos do sistema nervoso reduzida.

Salienta-se que o levantamento de dados referente às Investigações Detalhadas com Análise de Risco à Saúde Humana, indicou que grande parte das áreas com risco à saúde humana envolvem as concentrações correspondentes às frações de TPH. Por se tratar de uma composição de mistura de compostos de hidrocarbonetos, o TPH Total não possui parâmetros para análise quanto ao risco à saúde humana, visto que as metodologias atualmente aplicáveis não possuem valores de referência e não há valores definidos quanto a potabilidade para água. Dessa forma, consta na Resolução SEDEST 03/2020 que em casos de contaminação apenas por TPH Total, devem ser estabelecidas campanhas de monitoramento para o acompanhamento da evolução da contaminação. Entretanto, a CETESB revisa anualmente as Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação, tendo em vista que acrescentou

faixas do TPH em 2021, as quais vem sendo readequadas até a atual versão datada de março de 2023. As frações possibilitam um melhor entendimento sobre a contaminação e a análise de risco à saúde humana para TPH, entretanto, a citada ampliação é relativamente recente e as análises químicas dos compartimentos ambientais tendem a ter um maior custo para cada ponto, inviabilizando sua realização em muitos casos, principalmente diante da ausência de manifestação e solicitação do órgão ambiental. Dessa forma, dos 38 casos de investigação detalhada, 07 englobaram as frações de TPH, tendo em vista que 6 decorreram da solicitação do órgão ambiental, e 1 diante da extensão da contaminação e para melhor entendimento da mesma, dentre as quais, 5 apresentaram risco, sendo 2 deles apresentados nos Estudos de Caso.

Conforme Marques e Guerra (2021), os hidrocarbonetos de petróleo são compostos de difícil remediação por serem poluentes hidrofóbicos, reforçando o estímulo de investir na prevenção. No Estudo de Caso 1, a contaminação existe pelo menos desde 2008, tendo em vista que o sistema de remediação foi ativo por dois períodos distintos, e há atualmente concentração acima do valor de CMA, evidenciando a dificuldade quanto a remoção do produto no meio. Foi apresentado por Santos (2005), ao analisar o valor financeiro do dano ambiental diante da contaminação por hidrocarbonetos, que o negócio não paga grande parte do passivo ambiental gerado, concluindo também que um sistema de gestão ambiental poderia estabelecer meios simples e de baixo custo para evitar o dano.

## 7. CONCLUSÃO

Diante do levantamento realizado a partir de 66 avaliações de passivo ambiental realizadas em postos revendedores de combustíveis no estado do Paraná, foi possível identificar que grande parte dos resultados dos parâmetros analisados para postos em área urbana e de rodovia/estrada são similares. Principalmente em quesitos como tempo de atividade, compartimento ambiental impactado pela contaminação, nível da água subterrânea estabilizado, substância química de interesse que gerou a contaminação e presença/ausência de risco.

Quanto às fontes primárias, constatou-se que a maior parte dos casos de contaminação são decorrentes das antigas instalações e, na sequência, resultante das atuais instalações, com poucos casos de derramamentos pontuais ou advindos de instalação a montante. As antigas e as atuais instalações estão atreladas a uma gestão inadequada do empreendimento, tendo em vista que, as antigas estão relacionadas também aos equipamentos inadequados, enquanto as atuais, à falta de treinamento dos funcionários e equipamentos de controle.

Nos estudos de caso, as fontes primárias de contaminação estavam atreladas com as antigas e atuais instalações, permitindo que as substâncias químicas de interesse tivessem contato com o compartimento ambiental por trincas e transbordamentos em locais com áreas permeáveis, tendo em vista que a fonte secundária condizia ao compartimento solo, onde a substância fica adsorvida nas partículas atuando como fonte contínua de contaminação do lençol freático. Além disso, os hidrocarbonetos de petróleo são hidrofóbicos, tendendo a ficar fortemente retido na matriz do solo e consequentemente, de difícil remediação, gerando um maior custo para remediar o local do que para adotar um plano de gestão ambiental, principalmente diante das incertezas decorrentes do processo de remediação.

Assim, observa-se que, independente das características, porte do empreendimento e consequente volume de armazenamento e movimentação média de combustível, há ações que colaboram para evitar ou minimizar os danos nas áreas dos postos revendedores de combustíveis, evidenciando que investir na prevenção ao invés da remediação é mais vantajoso, além de ambientalmente, economicamente. As ações estão atreladas ao seguimento das exigências da Resolução SEDEST 03/2020, realizando vistorias periódicas, mantendo os equipamentos e infraestruturas conformes, estanques e limpos, mantendo os equipamentos ambientais em funcionamento e revisados, e realizando o treinamento dos funcionários.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ancheyta J., Speight J.G. **Hydroprocessing of Heavy Oils and Residua.** CRC Press. 346 f. 2007.

**Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2003** / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP . Disponível para download: <https://www.gov.br/anp> e <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico>.

**Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2023** / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP, 2006- . Disponível para download: <https://www.gov.br/anp> e <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico>.

**BRASIL.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 273, 29 de novembro de 2000.** Dispõe sobre a instalação de sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=97050>.

**BRASIL.** Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111046>.

**CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas** / CETESB – 2.ed. – São Paulo: CETESB, 2001. 389 p. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5584477/mod\\_resource/content/1/Manual%20Cetesb%20Completo\\_%C3%A1reas%20contaminadas.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5584477/mod_resource/content/1/Manual%20Cetesb%20Completo_%C3%A1reas%20contaminadas.pdf).

**CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas [recurso eletrônico]** / CETESB - 3.ed. – São Paulo: CETSB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/introducao-ao-gerenciamento-de-areas-contaminadas/introducao-introducao-ao-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>.

**Cole, G.M. Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites.** 1994. Boca Raton, FL, USA, Lewis Publishers, 360 f.

**Corseuil, H.X.; Marins, M.D.M. Efeitos causados pela mistura de gasolina e álcool em contaminações de águas subterrâneas.** 1998. Pages 133-138. Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro.

**Das N., Chandran P. Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview.** Biotechnol. Res. Int., 2011, pages 1-13.

**Donato, M. A. R. Análise preliminar de risco em posto de combustível localizado em Aracaju - SE.** 2019. 83 f. Monografia (Especialização) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Fetter, C.W. **Applied Hydrogeology**. 3rd Edition. 1994. Macmillan College Publishing Company, New York.

Finotti, A. R.; Caicedo, N. O. L.; Rodriguez, M. T. R. **Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira**. 2001. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v6. Pages 29-46.

Frena, M. **Determinação de Hidrocarbonetos de Petróleo em amostras de sedimentos do Complexo Lagunar Sul Santo Antônio – Imaruí – Mirim, SC**. 2008. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

Grisi, B. M. **Glossário de ecologia e ciências ambientais**. 2007. 276 f. Editora Universitária da UFPB, 2007.

Guedes, P.A.P – **Avaliação dos valores orientadores de investigação para os hidrocarbonetos totais de petróleo em solos e água subterrânea de Minas Gerais**. 2020. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2020.

Guiguer, **Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo por Vazamentos em Postos de Abastecimento**. 1996. 356 f. Waterloo Hydrology, Inc. Waterloo, Canadá.

Günther, W. M. R.. **Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana. São Paulo em Perspectiva**, v. 20, 2006, pages 105-117, 2006.

Knop, A., Thomé, A. **Movimento de Contaminantes no solo**. Pós graduação em Infra-estrutura e Meio Ambiente – UPF, 2008.

Logeshwaran, P., Megharaj, M., Chadalavada, S., Bowman, M., Naidu R. **Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches**. *Environmental Technology & Innovation*. Volume 10. 2018. Pages 175-193.

Loureiro, C. de O., de Oliveira, L. I., Rodrigues, O. de O. A., Costa, W. D. **Postos distribuidores de combustíveis e o problema ambiental em Belo Horizonte, MG**. 2002. Pages 1-23. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

Lopes, V. S. M. **Avaliação preliminar da contaminação por BTEX, em água subterrânea de poços tubulares, no município de Natal/RN**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

Marques, S. G. **Metodologia geofísica para contaminação por hidrocarbonetos: estudo de caso em posto de combustíveis**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Maranhão, D.; Teixeira, C. A.; Teixeira, T., M., A. **Procedimentos de investigação e avaliação da contaminação em postos de combustíveis, utilizando metodologias de análise de risco: aplicação da ACBR em estudo de caso na RMS**. 2007. 121 f. Monografia (Especialização). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

Marques, E.M, Guerra, A.J.T. **Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo.** In: Simpósio Nacional De Geomorfologia – SINAGEO, 2021.

Maximiano, A.M.S. **Determinação de Níveis Aceitáveis no Ambiente para Hidrocarbonetos utilizando o procedimento de ações corretivas baseadas no risco (RBCA), aplicação para cidade de São Paulo.** 2001. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Miller, A. D. **Remediação de fase livre de gasolina por bombeamento duplo: estudo de caso.** 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

Mindrisz, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental.** 2006. 254 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Oliveira. E. **Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Tanques de Armazenamento Subterrâneos.** 1992. 112f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências - USP.

Oliveira, L. I. de, & Loureiro, C. de O. **Contaminação de Aquíferos por Combustíveis Orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação Preliminar.** 1998. Pages 1-10. *X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*.

Pereira, M. A. C. **Alteração da espessura da fase livre da gasolina sob ação co-solvente do etanol.** 2000. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

Rodrigues, G. M. A. **Atividade de armazenamento e distribuição de combustível nos centros urbanos: os postos de combustíveis e a saúde pública.** 2015. 88 f. Mestrado Profissionalizante - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Sajna K.V., Sukumaran R.K., Gottumukkala L.D., Pandey A. **Crude oil biodegradation aided by biosurfactants from *Pseudozyma* sp. NII 08165 or its culture broth.** Bioresource Technol., 191 (2015), page 133-139.

Santos, R. J. S. dos. **A gestão ambiental em posto revendedor de combustíveis como instrumento de prevenção de passivos ambientais.** 2005. 217 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

Sança, R. L. R. **Fatores inibidores do uso de técnicas ambientais nos postos de combustíveis: um estudo de caso em Natal/RN.** 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

SEDEST. **Resolução nº 03, de 17 de janeiro de 2020.** Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental, estabelece condições e critérios para Posto Revendedor, Posto de Abastecimento, Instalação de Sistema Retalhisto de Combustível – TRR, Posto Flutuante, Base de Distribuição de Combustíveis e dá outras providências.

Setti, G. C. – **Plumas de Contaminação por Hidrocarbonetos em Diferentes Cenários Hidrogeológicos Paulistas**, 2008. 150 f. Dissertação (Pós Graduação) – Universidade de São Paulo Instituto de Geociências São Paulo, 2008.

Souza, F. W. de. **Estimativa da exposição e risco de câncer a compostos carbonílicos e BTEX em postos de gasolina na cidade de Fortaleza-CE**. 2011. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil. Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

Spilborghs, M. C. F. **Biorremediação de aquífero contaminado com hidrocarboneto**. 1997. 162 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo Instituto de Geociências, São Paulo, 1997.

Vodonis, B. G. **Análise preliminar de riscos em postos de combustíveis: estudo de caso**. 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.